Friedrich Klemm

Storia della tecnica

Feltrinelli

Friedrich Klemm

Storia della tecnica

con 56 illustrazioni nel testo

e 49 tavole fuori testo di cui 8 a colori

Feltrinelli Editore Milano

Parte prima

L'antichità greco-romana

Introduzione

All'alba della storia gli uomini disponevano già di una considerevole quantità di mezzi tecnici.

I ritrovamenti archeologici ci hanno dato asce, raschietti di selce, lance, archi e frecce, trapani, lampade ad olio ed utensili di ogni genere in osso, risalenti all'età paleolitica o della Pietra Antica. Nei disegni risalenti al Paleolitico superiore trovati nelle caverne della Francia meridionale e della Spagna, abbiamo, come dice J. E. Lips,[1] la documentazione figurata di una prima macchina usata dall'uomo: in questi disegni sono rappresentati, tra l'altro, dei bisonti, dei mammut, delle renne, e delle trappole. L'animale che cade nella trappola mette in moto un meccanismo a leva che fa crollare una serie di tronchi disposti obliquamente, sotto i quali

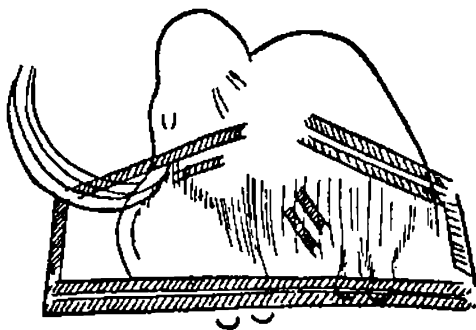



Fig. 1. *Mammut e trappola di gravità.* Caverna di Fonte-de Gaume (Paleolitico superiore).

l'animale rimane sepolto (fig. 1). Rimane ancora da chiarire come gli uomini di allora abbiano potuto abbattere e sistemare i grandi tronchi necessari alla costruzione di trappole simili, per mammut. L'uomo di quell'epoca, lontana da noi 12-20.000 anni, viveva in un mondo di identificazione magica tra l'oggetto e la figura dell'oggetto, tra le cose e le forze

delle cose stesse. Per lui la figurazione di un animale caduto in una trappola o colpito da una lancia equivaleva ad una vera e propria presa di possesso. La cattura o l'uccisione dell'animale fuori dalla caverna non era, allora, né piú né meno che il compimento di una presa di possesso già sanzionata magicamente. Si tratta quindi, in questo caso, di un rito magico per la caccia e di una tecnica magica di un'epoca nella quale l'oggetto e il simbolo, questo mondo e l'al di là, erano ancora identici. L'uomo si identificava ancora completamente con la natura.

Il periodo successivo, Mesolitico e Neolitico, portò ad un superamento di questa identità dell'oggetto con la figura, delle cose con le forze, del mondo reale con quello spirituale. Le cose e le forze non furono piú identiche per l'uomo di allora; anzi ci si immaginò l'oggetto come animato da forze demoniache. La coscienza umana cominciò a svilupparsi. L'uomo cominciò a distaccarsi sempre piú dalla natura. Si creava cosí la premessa per contrapporsi con maggior forza alla natura, con la propria opera. In quell'epoca la creazione tecnica doveva, in ogni modo, essere accompagnata da riti che avevano lo scopo di cattivarsi e di domare il mondo demoniaco che viveva nelle cose e accanto alle cose.

Alla fine del Paleolitico vennero fatti i primi passi nell'agricoltura e, indipendentemente da questa, nell'allevamento degli animali. Si cominciò ad usare asce di pietra levigata, falci di selce, accette a filo tagliente, seghe, aghi di osso, trapani ad archetto, fusi, telai, vasellame, macine mosse a mano; comparvero l'aratro e gli animali da tiro. L'impiego di questi mezzi tecnici era ancora legato a dei riti. Cosí l'aratro che fendeva la madre terra era nello stesso tempo un utensile e un simbolo della fecondazione e della fecondità.

In Europa intorno al 2.000 a. C. la pietra lavorata lasciò lentamente il posto agli utensili fusi in rame e in bronzo. Intorno al 1.000 a. C. al posto del rame e del bronzo cominciò ad introdursi in misura crescente il ferro, che veniva forgiato sul fuoco nella forma desiderata.

Con le civiltà dei grandi imperi dell'Asia minore, dell'Egitto, dell'Estremo Oriente e dell'India si esce dalla preistoria. I grandi fiumi, l'Eufrate, il Tigri, il Nilo, esercitarono una grande influenza sullo sviluppo tecnico della Mesopotamia e dell'Egitto. Le opere di irrigazione, la costruzione di canali e di dighe, il contenimento e l'utilizzazione delle acque erano imprese tecniche che, data la loro mole, richiedevano l'intervento dell'organizzazione statale. Cosí, al posto di una tecnica che nella preistoria si era sviluppata piú o meno nel chiuso delle singole comunità, si fece strada una tecnica guidata dallo stato, con una stretta collaborazione tra organizzazione statale e organizzazione ecclesiastica. Ciò principalmente in Egitto dopo che le singole regioni della valle del Nilo si erano unite o — come opportunamente fa osservare Hans Freyer — dopo che erano giunte a fondersi attraverso lotte e guerre. Fanno parte delle imprese tecniche dell'Egitto

anche la costruzione delle piramidi e la lavorazione, il trasporto e la sistemazione degli obelischi. Queste gigantesche imprese poterono essere realizzate solo da uno stato autocratico che era anche al vertice dell'organizzazione religiosa. Esso disponeva di eserciti di lavoratori il cui mantenimento e la cui organizzazione richiedevano un'accurata opera di pianificazione (tav. I a). Gli utensili e gli apparecchi di sollevamento impiegati erano estremamente semplici. Tra le conquiste tecniche dell'antico Oriente, alcune delle quali influirono anche sulla cultura greco-romana, vanno notate, per il periodo che va pressapoco fino al 1.200 a. C., la ruota, il mantice e la tenaglia nell'ambito della civiltà dell'Asia Minore e, in Egitto, la fusione e la lavorazione di diversi metalli, la vela, il papiro, la fermentazione delle bevande, la concia, il vetro, la pergamena, la bilancia e la ruota del vasaio.

Il ruolo subordinato della tecnica

Il grande apporto culturale dell'antica Grecia è costituito, senza dubbio, dallo sviluppo di una coscienza scientifica, ed in Grecia fa la sua comparsa l'uomo teoretico. La vita dei greci era tesa alla conoscenza scientifica, che a sua volta la formava in un senso piú alto. In generale la tecnica occupò nell'antica Grecia un posto in sottordine di fronte alla scienza pura. Soprattutto il realismo platonico, per il quale la realtà non era costituita dalle singole cose di questo mondo, ma dal lontano ed immutabile regno delle idee, considerava il mondo delle cose come un puro riflesso delle idee e quindi come qualcosa di secondario. Da ciò si comprende anche come il metodo sperimentale non abbia avuto grande importanza per i greci. Era invece tenuta in grande considerazione la geometria, i cui concetti appartengono al mondo delle idee. Come ha dimostrato H. Dingler,[2] la causa della incapacità da parte dell'antica Grecia di sviluppare, accanto alla statica espressa in termini matematici, una corrispondente dinamica, cioè una teoria del moto, si deve ricercare nella concezione che gli antichi greci avevano della immutabilità e della immobilità dell'Idea e della Forma. Il moto stesso avrebbe potuto essere concepito come Idea, come Forma, ma proprio a ciò i greci antichi non seppero giungere, per il concetto statico che ebbero della forma.

Come abbiamo già detto, l'antica Grecia raggiunse notevoli risultati nel campo della statica, proprio perché considerava l'essenza matematica come principio formativo del mondo delle cose. Ma i greci antichi riluttavano al passo dalla teoria alla applicazione pratica.[3] L'uomo libero si dedicava allo stato, alla scienza pura, all'arte. La creazione tecnica era, piú o meno, considerata compito dei meteci (cioè degli stranieri) e degli schiavi, il cui numero in certi periodi, particolarmente in quello ellenico, fu in Grecia eccezionalmente alto.

La valutazione che allora si dava al lavoro artigianale e tecnico può essere innanzitutto documentata da un brano di Platone (380 a. C. circa).

Ma se uno ha molte incurabili malattie in quella parte del suo Io che è ancora piú preziosa del suo stesso corpo, e cioè nell'anima, deve

attribuire grande valore alla sua vita? gli può giovare essere salvato dalla furia del mare o dalla severità del tribunale o da qualsiasi altro pericolo? No: egli sa infatti che per l'uomo cattivo la vita non è un bene, poiché deve necessariamente vivere nel male.

Non v'ha perciò ragione alcuna perché il timoniere creda di avere fatto qualcosa di straordinario anche se ci ha salvati: e cosí pure il costruttore di macchine, il quale può condurre a salvazioni ben maggiori di quelle a cui può condurre un generale o un timoniere: infatti talora egli salva intere città. Si può egli misurare con l'oratore di fronte al tribunale? Caro Callimaco, se egli volesse parlare come voi e vantare il suo mestiere, potrebbe sommergervi di parole ed incitarvi a diventare dei costruttori di macchine, secondo lui, tutto il resto è senza valore. Egli non mancherebbe di argomenti. Ma tu, ciononostante, disprezzeresti lui e la sua arte e quasi per ischerno lo chiameresti "costruttore di macchine," e a suo figlio non daresti tua figlia in isposa, né andresti a cercare sua figlia come sposa per tuo figlio. Eppure, per le stesse ragioni per le quali tu lodi la tua arte, con quale diritto disprezzi il costruttore di macchine e gli altri che io ho poc'anzi nominato? Lo so, tu risponderesti che sei migliore e di migliore famiglia. Se però il "meglio" non è ciò che io intendo con questo nome, bensí è virtú mantenere se stessi e le proprie cose, allora è del tutto ridicolo il tuo disprezzo per il costruttore di macchine, per il medico e per gli uomini delle altre arti, che hanno per scopo la conservazione. No, mio caro, rifletti se il Nobile e il Buono non consistano piuttosto in qualcosa di diverso dal salvare e dall'esser salvati. [1]

Inoltre, a proposito degli artigiani, va precisato che nessun cittadino o schiavo di cittadino dovrà occuparsi di lavori manuali; inquantoché il buon cittadino sarà sufficientemente impegnato, ed in una attività che richiede assai maggiori cure che non lo svolgimento di una qualsiasi attività secondaria piú ristretta. D'altra parte l'adempiere con diligenza a due arti o a due professioni è cosa che supera in pratica le forze di qualsiasi natura umana, e parimenti il compito di esercitarne una di persona, e di dirigere un altro che ne esercita un'altra...

No, nel nostro stato ciascuno deve svolgere soltanto un'unica attività, e da questa ricavare i mezzi per vivere. I responsabili della cosa pubblica devono far osservare questa legge e punire con ogni sorta di onta e di vergogna quel cittadino che sia piú incline a svolgere una qualsiasi attività manuale che non a curare le sue virtú interiori, finché non lo avranno riportato sulla retta via. E se uno straniero intra-

prenderà insieme due attività, lo si dovrà parimenti punire con la prigione, la multa ed il bando, costringendolo cosí ad essere un solo uomo, non molti. [2]

Pure indicativo agli effetti della sopravvalutazione della teoria rispetto alle applicazioni pratiche, alle quali ci si dedicava solo se spinti dalla necessità e senza ritenerle degne di venir trattate in opere letterarie, è il noto passo di Plutarco riguardante Archimede († 212 a. C.).

Marcello cominciò ad assediare Siracusa per terra e per mare. Appio conduceva l'esercito e Marcello stesso conduceva sessanta vascelli da guerra, carichi di ogni sorta di armi; su otto navi collegate insieme aveva disposto una macchina bellica con la quale aggrediva le mura, fidava sulla sua numerosa flotta, sugli abbondanti armamenti e sulla sua provata gloria militare: tutto ciò peraltro era niente di fronte ad Archimede e alle sue macchine da guerra. E Archimede aveva approntato queste macchine non per la loro importanza, ma considerandole piacevoli applicazioni secondarie della geometria. Il re Gerone lo aveva già pregato e persuaso a tradurre in concreto qualche principio astratto della sua arte, rendendo utili anche alla pratica comune le sue profonde speculazioni.

Questa tanto amata arte della meccanica era stata praticata dapprima da Eudosso e da Archita: per rendere meno ardua la geometria essi avevano risolto mediante esempi meccanici concreti quei problemi geometrici che non potevano essere immediatamente compresi. Cosí avevano risolto per via meccanica il problema di due segmenti medi proporzionali, come fondamento per la risoluzione di molti altri problemi, impiegando a tale scopo dei mesolabi derivati da curve e sezioni coniche. Platone tuttavia ne era rimasto afflitto e li aveva rimproverati, deplorando che essi in tal guisa tradissero lo spirito della geometria, trasportando questa scienza dal campo delle cose irreali ed astratte a quello degli oggetti sensibili e impiegando oggetti che si addicevano soltanto ai comuni e rozzi operai. A seguito di tali considerazioni la meccanica venne scissa dalla geometria e per lungo tempo fu disprezzata dalla filosofia pura; essa restò cosí confinata al rango di una scienza militare.

Una volta Archimede scrisse al re Gerone, suo parente ed amico, che qualsiasi carico poteva essere mosso da una data forza, e giunse anzi al punto di affermare che sarebbe stato in grado di smuovere anche la Terra, se solo avesse potuto appoggiarsi da qualche altra parte.

Gerone si meravigliò molto di ciò, e pregò Archimede di realizzare questo suo dispositivo e di mostrare che un grosso carico poteva essere mosso da una piccola forza. Archimede prese allora una delle navi da carico del re, che poteva essere tratta a terra solo con molta fatica e impiegando molti uomini, vi lasciò sopra molte persone e il carico normale, si pose a una qualche distanza da essa, e agendo semplicemente su un capo di una macchina composta di molte corde e ceppi, tirò a terra la nave senza fatica, con tale facilità come se essa galleggiasse sul mare. Il re, che assai si stupí al vedere i grandi effetti prodotti da quest'arte, chiese ad Archimede di preparargli diverse macchine di difesa e di attacco per ogni tipo di assedio; il re non impiegò tali macchine, perché trascorse gran parte della sua vita in pace e senza guerre; ma esse e il loro inventore Archimede si rivelarono ora di grande aiuto ai siracusani durante l'assedio.

Con tutta la ricchezza delle sue invenzioni, Archimede conservava una tale elevatezza di sentimenti e nobiltà di spirito, da non volere lasciar nulla di scritto su questa arte, che gli aveva procurata fama di intelligenza sovrumana e divina. Egli teneva in conto di cose volgari e manuali la meccanica pratica e soprattutto ogni arte che fosse determinata da una necessità. Il suo spirito era attratto soltanto da quelle scienze nelle quali il bello ed il buono hanno un valore in sé e per sé e che non servono le necessità degli uomini; scienze che non possono essere paragonate ad alcun'altra e nelle quali le cose trattate gareggiano per eccellenza con le dimostrazioni, in quanto le dimostrazioni sono importanti e fondamentali, e le cose stesse sono in sé nobili e belle.

Quando Siracusa venne espugnata dai romani, Archimede si trovava nella sua stanza occupato con dei disegni e quindi tanto immerso nei suoi pensieri da non rendersi affatto conto che i romani stavano conquistando la città. D'un tratto si presentò nella sua stanza un soldato romano, che gli ingiunse di seguirlo immediatamente da Marcello. Archimede tuttavia non volle farlo fin quando non avesse risolto il suo problema e completata la sua dimostrazione. A seguito di ciò il soldato fu colto da tale ira, che trasse la spada e lo trafisse.

La sorte di Archimede addolorò talmente Marcello, che il soldato che l'aveva ucciso fu in seguito da lui disprezzato come malvagio e tutti i parenti di Archimede che poté trovare furono da lui innalzati a grandi onori. [3]

Da ultimo riportiamo ancora, dell'epoca dell'impero romano, due lettere di Seneca († 65 d. C.) a Lucilio, che pure dimostrano un certo di-

sprezzo per tutti i lavori manuali da svolgersi a schiena curva e con lo sguardo diretto verso il basso.

Posidonio distingue quattro tipi di arti: prima le arti comuni ed umili, secondo, le arti che servono per passatempo; terzo, le arti che riguardano i ragazzi; quarto, le arti liberali. Le comuni sono quelle degli artigiani, che si esercitano con le mani e servono a procurarsi i mezzi per vivere; in esse non vi è alcuna pretesa di bellezza o di nobiltà morale. Servono per passatempo le arti che si propongono di dar piacere agli occhi e agli orecchi; fra queste sta quella dei costruttori di congegni, i quali inventano ordigni che si sollevano da soli, e piani di edifici che si innalzano senza il minimo rumore e altri vari sorprendenti spettacoli allorché o si aprono oggetti che erano saldamente connessi nelle loro parti o spontaneamente si uniscono quelli che erano disgiunti od a poco a poco si abbassano quelli che erano elevati: ciò attira l'attenzione degli ignoranti, che si meravigliano di tutti i fenomeni repentini perché non ne conoscono le cause. Riguardano i ragazzi e hanno qualche somiglianza con le arti liberali quelle che i greci chiamano ἐγκυκλίους [enciclopediche] e noi liberali. Ma liberali, o per meglio dire, libere, sono soltanto quelle arti che indirizzano tutti i loro sforzi alla virtú. [4]

E non sono d'accordo sul fatto che siano stati i sapienti a scoprire le miniere di ferro e di rame dopo che la terra, riscaldata dall'incendio delle foreste, ebbe mandato fuori liquefatte le vene di metallo giacenti alla superficie: trovano tali cose coloro ai quali tali cose stanno a cuore. Anche la questione ...se sia stato per prima adoperato il martello o la tenaglia, non mi pare di gran peso. Entrambe le invenzioni mi sembrano frutto di un ingegno vivace ed acuto, non profondo né elevato. E cosí avviene di tutto ciò che si deve cercare stando col corpo curvo e con lo sguardo rivolto al suolo...

Tutte quelle arti, che portano tanta animazione o fanno tanto rumore nella vita cittadina, stanno soltanto al servizio del corpo, al quale un tempo si dava ogni cosa come ad un servo, mentre ora si appresta tutto come a un padrone. E perciò trovi qui i laboratori di tessitori e fabbri, là quelli dei profumieri... Infatti è scomparso quel naturale senso di misura, che poneva la necessità come limite ai desideri...

È risaputo che alcune cose sono comparse soltanto nel corso dei tempi attuali, come ad esempio l'impiego di lastre alle finestre che lasciano passare attraverso la massa trasparente del vetro la chiara luce

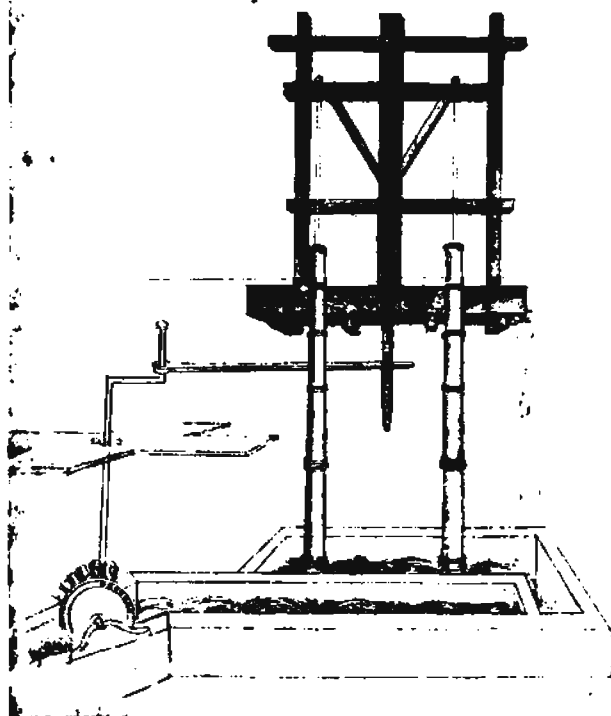
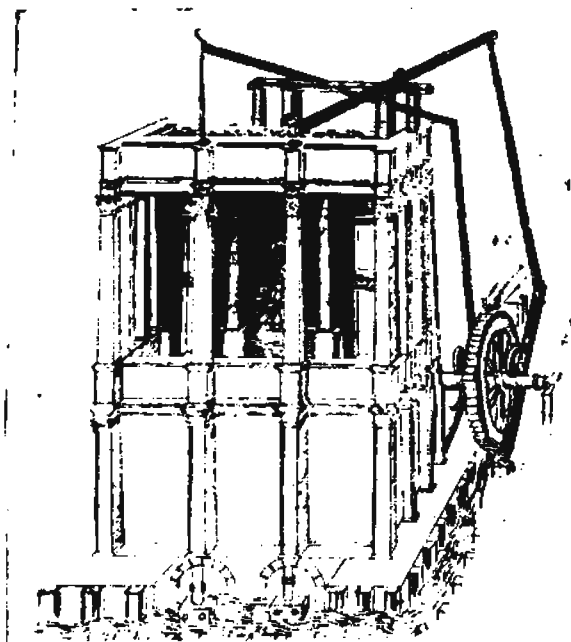



Fig. 2. *Fucina greca.* A sinistra: il fabbro; al centro: l'aiutante; a destra: alcuni spettatori. Da un'anfora antica del 500 circa a. C.

del giorno, o le alte volte dei bagni con tubi inseriti nelle pareti per convogliare dovunque il calore e assicurare l'uniforme sua distribuzione in tutte le direzioni. Accenno appena all'uso del marmo, di cui risplendono templi e case; alle pietre arrotondate e levigate su cui poggiano le colonne e i soffitti delle sale, vaste abbastanza per contenere un'intera popolazione; alla tachigrafia, mediante la quale anche il piú veloce discorso può venir fissato per iscritto, in quanto la mano che scrive procede con la stessa rapidità della lingua. Tutte queste sono invenzioni di individui inferiori; la sapienza siede su un trono piú alto: e non le mani, ma le anime sono oggetto dei suoi ammaestramenti...

Essa non appresta armi, né mura, strumenti bellici; favorisce la pace ed invita gli uomini alla concordia. Essa, ripeto ancora una volta, non costruisce oggetti utili per i bisogni della vita. [5]

Tuttavia, il lavoratore manuale, nella grande generalità dei casi, non era affatto cosí disprezzato come si potrebbe ritenere leggendo i passi di qualche antico autore. Nell'epoca omerica anche uomini di nobile nascita non si vergognavano affatto di svolgere lavori manuali, e il numero degli operai era sempre assai notevole nelle assemblee popolari di Atene.[4]

Archimede creò la meccanica matematica, trattandone in due opere che comprendevano la statica dei solidi e la statica dei fluidi, ma, come già si è detto, non pubblicò nulla riguardo alle applicazioni pratiche di tale dottrina. Le leggi della meccanica furono derivate da Archimede, con procedimento puramente deduttivo, da alcune semplici definizioni e da dati di esperienza, proprio come aveva fatto Euclide. L'accento era posto sulla parte matematica. Circa un secolo prima di Archimede comparve uno scritto attribuito al primo Aristotele, che trattava anch'esso alcune questioni di meccanica: i cosiddetti *Problemi di meccanica* pseudo-aristotelici (fine del IV sec. a. C.). In quest'opera si parla di molte applicazioni tecniche della meccanica, ma non come fini a se stesse: si tratta assai piú della discussione e della soluzione dei cosiddetti "aporismi," cioè di questioni, nel caso particolare anche questioni di meccanica pratica, che contengono particolari contraddizioni e difficoltà. Un esempio tipico di aporia, cioè di contraddizione, si ha quando una piccola forza deve muovere un carico pesante. È significativo a questo proposito il fatto che l'autore considerava il processo tecnico come qualcosa che avviene *contro* la natura. Tecnica significa "machinatio," e cioè astuzia, derivando dal greco μηχανάομαι = medito un'astuzia. Nelle questioni della meccanica tecnica si tratta pertanto di vincere con l'astuzia la natura risolvendo le contraddizioni e superando le difficoltà che si presentano. Una trattazione matematica, nel senso di Archimede, era del tutto assente dalle intenzioni dell'autore dei *Problemi di meccanica*: egli si rivolgeva ai procedimenti concreti di carattere tecnico-meccanico, ma soprattutto per chiarirli dialetticamente, per dimostrare che essi, in ultima analisi, non contenevano alcuna contraddizione. La maggior parte dei dispositivi meccanici considerati dall'autore viene riportata alla leva; ed egli dimostra che il fenomeno costituito dal fatto che una piccola forza valga a smuovere in modo meraviglioso e paradossale un grosso carico, trova la sua spiegazione nelle proprietà, dialetticamente meravigliose e paradossali, del cerchio. Con la leva infatti sia la forza sia il carico si

spostano secondo archi di cerchio. Il cerchio pertanto contribuisce a formare l'essenza della leva. In questa devono ritrovarsi quindi le straordinarie caratteristiche del cerchio, per cui possono venir meravigliosamente composte in armonia proprietà contrastanti. In ultima analisi, è quindi il significato filosofico quello che qui predomina: la meccanica concreta è spinta in secondo piano dalla filosofia, come in Archimede dalla matematica. Entrambe le opere, con tutte le loro differenze di concezione, sono tuttavia l'espressione di una formazione spirituale tipicamente greca.

Si possono qui inserire alcuni passi dei *Problemi di meccanica* pseudo-aristotelici.

Meravigliosa cosa appare quella che accade, sí, secondo natura, ma di cui non si discopre la causa [αἴτιον]; e parimenti quella prodotta contro natura, per artificio, a pro delle necessità degli uomini. In molte cose opera infatti la natura contro i bisogni dell'uomo: poiché essa segue sempre il suo proprio corso... Se quindi deve accadere [essere prodotto] qualcosa contro la natura, ciò costituisce, a causa della difficoltà, un'aporia, ed implica il ricorso a speciali arti. Intendiamo con il nome di meccanica quell'arte che serve alla risoluzione di tali aporie, secondo il detto del poeta Antifonte: "L'arte procuri la vittoria, che natura impedisce."

Appartengono a questo genere i fenomeni in cui il piú piccolo vince il piú grande, e una modesta forza solleva pesanti carichi, e tutti gli altri problemi che chiamiamo meccanici. Essi si differenziano dai problemi fisici, ma non ne sono completamente diversi, partecipando insieme dei teoremi matematici e di quelli fisici, in quanto la matematica studia le proprietà formali, la fisica quelle reali. Alle aporie di questo genere appartengono quelle relative alla leva, in quanto appare contraddittorio che un grosso peso sia mosso da una piccola forza: colui che non riesce a muovere un carico senza leva, con l'aiuto di una leva lo potrà muovere facilmente. La ragione prima di tutto ciò sta nell'essenza del cerchio, ed è assai naturale: poiché non è assurdo che dallo straordinario nascano cose straordinarie. La cosa piú straordinaria di tutte è però il fondersi di proprietà opposte in un tutto unico: ed il cerchio è realmente cosí composto. Esso è infatti prodotto da qualcosa che si muove e da qualcosa che sta fisso al suo posto, e queste due son già di natura opposta l'una all'altra: tuttavia in ciò non è causa di gran meraviglia come nelle contrastanti proprietà che esso presenta. Innanzitutto infatti ci sono due caratteri contrastanti nella linea che racchiude il cerchio e che è priva di larghezza: il concavo ed il convesso. Questi sono fra loro altrettanto distinti quanto il piccolo e il grande, e com-

prendono in mezzo ad essi la linea retta, così come in mezzo al grande e al piccolo sta l'uguaglianza. E quindi, quando l'uno deve trasformarsi nell'altro, devono prima eliminare tale loro differenza: il cavo deve prima assumere la forma rettilinea per diventare sporgente, e così lo sporgente per diventare cavo. Da ciò risulta la prima [visibile] contraddizione del cerchio. Un'altra è questa: che esso si muove contemporaneamente secondo due direzioni opposte, in avanti e, al tempo stesso, all'indietro. La linea retta che descrive il cerchio ritorna sempre alla stessa posizione estrema, da qualunque parte essa si muova. Nel suo ininterrotto movimento, l'ultimo diventa il primo, per cui è evidente l'inversione del movimento. Non è quindi, come s'è detto, cosa assurda che il cerchio costituisca la ragione prima di tutti quei meravigliosi fenomeni; poiché ciò che avviene nel braccio di una bilancia si può ricondurre al cerchio; ciò che avviene nella leva si può ricondurre al braccio di una bilancia; e quasi tutti gli altri moti della macchina si possono ricondurre a quello della leva. [6]

Perché i rematori che si trovano a metà della nave sono quelli che di più concorrono a muoverla? Forse perché il remo è una leva e lo scalmo il suo fulcro? Questo infatti sta fermo; il carico è il mare che viene spinto indietro dal remo; il marinaio è quello che muove la leva. Un carico ha però tanta maggiore possibilità di muoverne un altro, quanto più esso è lontano dal punto di appoggio, poiché tanto maggiore risulta il braccio. Lo scalmo però, come fulcro, si trova nel punto di mezzo. A metà corpo della nave, la maggior lunghezza di remo si trova all'interno, e in questo punto è massima la larghezza della nave, cosicché da entrambe le parti una maggior lunghezza di remo sporge all'interno dai fianchi della nave. La nave viene mossa in quanto il remo viene puntato sul mare, la parte interna del remo viene spinta verso la prora e la nave, collegata al remo tramite lo scalmo, deve procedere nella stessa direzione. Pertanto, laddove più ampio è il tratto di remo sopra il mare, necessariamente maggiore è la spinta che riceve la nave. E ciò si ha ove più lunga è la parte di remo che sporge dallo scalmo. Questo è il motivo per cui l'effetto massimo è quello dovuto ai rematori che si trovano a metà della nave: perché a metà della nave più lungo è il tratto di remo utile all'interno dello scalmo. [7]

Perché i proiettili vengono lanciati più lontano mediante la fionda che con la sola mano, anche se colui che li lancia con la sola mano imprime un movimento maggiore che non quando si serve della fionda? Forse perché si hanno in tal caso i due moti insieme, e cioè quello della fionda e quello del proiettile, mentre nell'altro c'è soltanto quello

del proiettile. Infatti il fromboliere muove dapprima il proiettile nella fionda, fa girare quest'ultima piú volte in circoli e quindi la lascia andare. Quando il proiettile viene gettato dalla mano, esso si trova dapprima in quiete. Questa è la causa del fenomeno, perché infatti nel lancio la mano rappresenta il punto di mezzo e la fionda costituisce il raggio piú lungo, la mano senza la fionda il piú corto. [8]

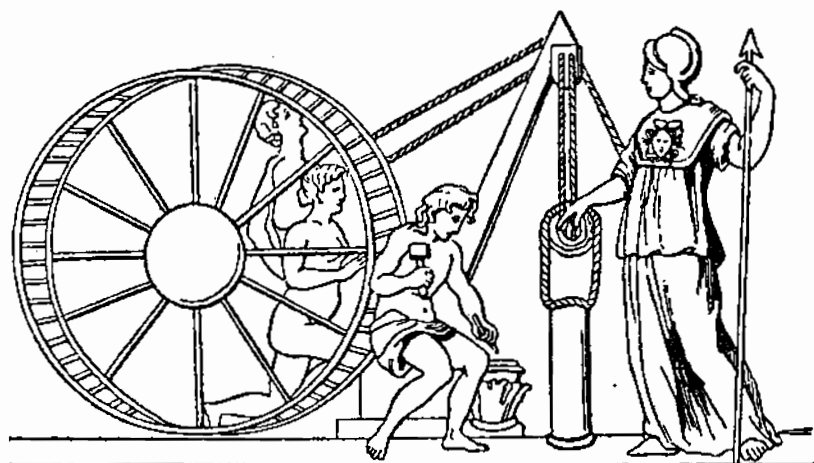



Fig. 8. *Dispositivo romano per sollevare colonne,* azionato mediante ruota mossa con i piedi. Bassorilievo; anfiteatro di Capua.

Con l'esempio del remo si vuol dimostrare, in base alla teoria della leva, che a parità di angolo di vogata, un remo piú lungo muove piú velocemente la nave che non un remo corto, anche se per entrambi il rapporto del braccio del peso e di quello della forza è lo stesso.[5] Per il resto questo capitolo è poco chiaro, come altri dei trentacinque *Problemi.* Il Rinascimento, che si ricollegava oltre che alla meccanica di Archimede anche ai Problemi di meccanica pseudo-aristotelici, riconobbe ciò esplicitamente.[6]

Già nella Grecia pre-ellenistica, accanto ad una produzione di carattere domestico e di piccolo artigianato, esisteva, almeno nelle città maggiori, una tecnica di lavoro molto progredita. Abbiamo notizie di grandi officine con una netta suddivisione del lavoro, nelle quali tuttavia le singole operazioni venivano compiute con metodi puramente artigianali.[7] Si poteva appena parlare dell'esistenza di macchine. Alla fine del V secolo a. C. abbiamo notizia di una fabbrica di telai per letti ad Atene, con 20 schiavi. Una fabbrica con 32 schiavi produceva coltelli e la famosa fabbrica di scudi di Lisia occupava 120 schiavi: mentre Ulisse si vantava ancora di essersi costruito da solo il letto di nozze, i nobili ateniesi dell'epoca di Pericle se lo compravano dal mobiliere. Nel periodo ellenistico crebbero ancora le officine che si valevano del lavoro degli schiavi. Anche nell'impero romano esistevano grosse officine, che producevano per lo piú oggetti economici di largo consumo.[8] Ma le grandi officine dell'antichità non valsero ad interrompere la produzione a carattere domestico degli oggetti piú importanti. L'introduzione delle macchine negli opifici si ebbe in misura minima: l'impiego degli schiavi rendeva tanto economica la manodopera che l'impiego di macchine costose risultava inutile (il lavoro degli schiavi non era propriamente a buon mercato, ma gli schiavi potevano facilmente essere venduti, se necessario: costituivano una forza mobile nel vero senso della parola). Nel periodo della tarda romanità, come cercò di spiegare il Rostovtzev, anche le condizioni economiche e sociali non avrebbero certo consentito l'impiego delle macchine, che inizialmente è sempre cosí costoso.

A testimonianza della specializzazione e suddivisione del lavoro presso gli antichi riportiamo un noto brano di Senofonte (370 a. C. circa).

Nelle piccole città... un solo uomo fa letti, porte, aratri, tavoli, spesso anzi questo stesso costruisce anche case, si contenta di trovare questo o quel datore di lavoro che gli dia di che tirare avanti — e è impossibile che un uomo che esercita piú mestieri li possa far tutti

bene. Nelle grandi città invece, a causa della maggior domanda esistente nei singoli campi, un solo mestiere è sufficiente a procurar di che vivere ad un uomo; anzi spesso non è necessaria neppure un'arte completa: ad esempio uno può fare scarpe da uomo e un altro scarpe da donna, e può addirittura succedere che uno trovi da vivere con le sole riparazioni, un altro adornando le scarpe, un terzo con il semplice taglio delle tomaie e un quarto infine, senza far niente di ciò che fanno gli altri, semplicemente con il montare le scarpe. Necessariamente allora colui che costantemente si limita ad un solo lavoro deve riuscire a compiere tale lavoro in modo perfetto. La stessa cosa succede nella preparazione dei pranzi: infatti quando uno solo dispone i cuscini, apparecchia la tavola, impasta il pane, prepara ora questo cibo, ora quest'altro, penso che in tal caso ci si debba per forza accontentare di prendere ciò che da lui si può ottenere. Quando invece uno ha il solo incarico di lessare la carne e un altro di arrostirla, uno di lessare il pesce e un altro di cuocerlo nel forno, uno infine di preparare il pane (e non di tante qualità, ma sempre di una certa specie), in tal caso ritengo che con questa suddivisione del lavoro le varie cose possono tutte essere preparate a puntino. [9]

Un esempio di suddivisione del lavoro fra fabbriche distanti le une dalle altre fino a 700 km., e separate dal mare, lo possiamo trovare nella *Historia naturalis* di Plinio († 97 d. C.).

In Egina ci si dedicava in particolare alla lavorazione dei bocciuoli per candelieri (*candelabra*), mentre a Taranto si fabbricavano i relativi fusti; due distinte officine portavano quindi a compimento questi oggetti. Il loro nome deriva evidentemente dalla luce delle torce [che vi venivano infisse], e non si ha vergogna ad acquistarli per una somma pari alla paga di un tribuno militare. [10]

Le catapulte

Quando si è detto che nell'antichità greco-romana la macchina aveva una parte assai limitata, ciò non si riferiva minimamente alle macchine da guerra. In questo campo già la Grecia dimostra di saper costruire grandi macchine belliche, basate sul calcolo e sull'esperienza. La catapulta dell'antichità, di notevole efficacia, si basava sulla torsione di grosse funi fatte di capelli femminili o di budello. L'invenzione di questa catapulta a torsione fu fatta nel IV secolo a. C. presso Dionisio il Vecchio, tiranno di Siracusa, che aveva promosso un'intensa attività di ricerca nel campo della tecnica applicata alla guerra, per valersene nella lotta contro Cartagine. Si noti a tale proposito che i principî della catapulta a torsione sono da ricercare già nelle trappole a torsione dei tempi preistorici. Nell'epoca posteriore ad Alessandro Magno le catapulte, come pure le altre macchine belliche, furono notevolmente migliorate, sulla base anche di conoscenze scientifiche. Nel II e III sec. a. C., ad Alessandria, fu sviluppata una formula in cui si fondevano teoria e pratica, atta a determinare la relazione esistente fra il "calibro" e la lunghezza della saetta o il peso del proiettile di pietra da lanciare. Per "calibro" si intendeva il diametro del foro attraverso il quale veniva teso il fascio di budelli (fig. 4). La grandezza di tutte le altre parti veniva determinata in rapporto al calibro. Si usava quindi già quel metodo che fu poi detto "dei rapporti" nel XVIII e XIX sec. Come materiale di costruzione per la catapulta si impiegava il legno, che veniva però provvisto di rinforzi in ferro dove motivi di resistenza lo richiedevano. Considerata nel suo complesso, la catapulta a torsione risultava una macchina razionalmente ben costruita, sia dal punto di vista del materiale che del funzionamento. Circa la tecnica di costruzione delle catapulte, che i romani poi ereditarono dai greci, riportiamo i seguenti brani da opere di Filone di Bisanzio (200 a. C. circa), Vitruvio (I sec. a. C.) ed Erone Alessandrino (I sec. d. C.).

Che quest'arte [della costruzione delle catapulte] appaia ai più come qualcosa di difficile da comprendere e da giudicare, non è cosa

ignota a te, Aristo. I molti nondimeno che tentarono la costruzione di catapulte di uguale grandezza, adottando la stessa composizione, la stessa qualità di legno e le stesse parti metalliche, senza cambiare neppure il peso, ottennero delle catapulte che in alcuni casi presen-

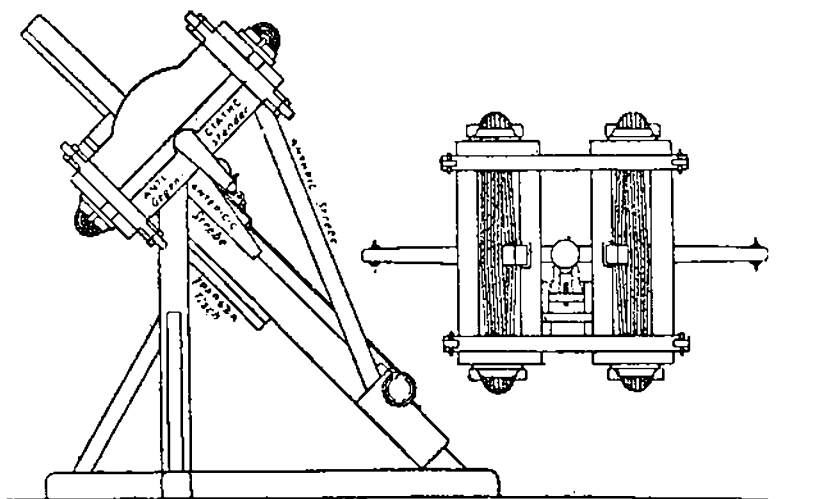



Fig. 4. *Palintonon da dieci mine.* A sinistra: la catapulta vista di fianco; a destra: il tenditore con le corde di budello.

tavano una lunga gittata e una grande forza di penetrazione, in altri apparivano assai inferiori a queste: e se si chiedeva loro da cosa ciò dipendesse, non sapevano indicarne le cause. Quanto disse lo scultore Policleto si applica pertanto perfettamente alle differenze sopra accennate. Egli dice infatti: "Il risultato dipende dai valori di alcuni rapporti numerici, che possono cambiare di molto per una piccola causa." Parimenti, in questa arte la perfezione del risultato si ottiene in base ai valori di alcuni rapporti, per cui piccole differenze nelle singole quantità si sommano alla fine dando luogo a grossi errori. Perciò, dico, per la costruzione bisogna riferirsi con la massima esattezza alle caratteristiche delle catapulte che hanno già dato buona prova, specialmente quando debbano essere costruite in scala maggiore o minore. Spero che coloro che utilizzeranno le mie prescrizioni non si troveranno mai nell'imbarazzo... Soltanto da ultimo è stato possibile ricondurre i criteri e la teoria della costruzione di catapulte a un concetto ben preciso, sia attraverso la analisi degli errori fatti preceden-

temente, sia mediante l'osservazione dei risultati di prove eseguite in seguito; tale concetto fondamentale è rappresentato dal diametro del foro attraverso cui passa la corda di tensione. A ciò è recentemente riuscita la tecnica alessandrina, che fu dotata di ricchi mezzi da re che amavano la fama e le arti: poiché non tutto si può ottenere con il calcolo e con i metodi della meccanica, e molto bisogna anzi scoprire mediante esperimenti, come risulta anche per molte altre cose...

Compito dell'arte della costruzione di catapulte è di mandar lontano il proiettile, con grande forza di penetrazione, e a ciò sono state ispirate le prove sperimentali e la maggior parte delle ricerche. Voglio ora parlarti di ciò secondo quanto da me personalmente appreso non solo per essere stato in relazione con i principali specialisti alessandrini in questo campo, ma anche per aver conosciuto non pochi maestri di questa arte a Rodi, presso i quali ho veduto catapulte fra le migliori... [11]

Tutte le proporzioni della catapulta (disposta orizzontalmente) si calcolano sulla lunghezza della saetta da scagliare. La nona parte di questa lunghezza sarà la dimensione del diametro dei fori nei capitelli, attraverso cui sono tirate le corde di minugia.

L'altezza e la larghezza di questi capitelli devono venir determinate in base al diametro [calibro] di queste aperture. Il ciglio trasversale superiore e quello inferiore delle camere, detti peritreti, avranno spessore di 1 calibro, larghezza di 1 e ¾, e, alle estremità, 1 e ½... [12]

Le balestre, pur servendo allo stesso scopo, possono essere costruite in molti e svariati modi. Alcune infatti sono caricate mediante leve ed aspi, alcune mediante carrucole, altre mediante verricelli, altre infine mediante timpani. Tuttavia ogni balestra deve venir costruita in rapporto al peso della pietra che dovrà lanciare. Pertanto il progetto delle balestre non potrà essere fatto da tutti, ma solo da chi ha familiarità coi numeri ed i calcoli geometrici.

I [diametri dei] fori nei capitelli, attraverso i quali passano le corde fatte di capelli femminili o di minugia, vengono determinati in base al peso della pietra che la balestra dovrà lanciare; le dimensioni vengono fissate in base alla pesantezza, mentre nelle catapulte sono fissate in base alla lunghezza della saetta. Affinché anche coloro che non conoscono la geometria possano usare di quest'arte e non debbano cominciare a studiarla solo all'approssimarsi di un pericolo di guerra, spiegherò ciò che so sicuramente per mia propria esperienza, e ciò che ho appreso dalle opere dei maestri, e riferirò quali rapporti fossero indicati negli scritti dei greci fra il peso e le dimensioni,

spiegando tali rapporti in modo che possano applicarsi anche ai pesi in uso presso di noi. [13]

La parte maggiore e piú necessaria della saggezza universale è quella che tratta della pace dell'anima, sulla quale i filosofi hanno svolto e svolgono quasi tutte le loro speculazioni, ed anzi credo che le speculazioni teoriche su tale argomento non avranno mai fine. La meccanica tuttavia trascurò le speculazioni teoriche sulla tranquillità dell'anima ed insegnò a tutti gli uomini la scienza di vivere con l'anima in pace mediante quella piccola, minima parte di essa, che tratta della costruzione di catapulte. In quanto con essa si è in condizione di proteggersi contro l'attacco di nemici interni ed esterni, sia in tempo di pace, sia quando scoppia una guerra, mediante gli insegnamenti relativi alla costruzione di tali macchine. A questo scopo occorre solo occuparsi costantemente e con diligenza di questa parte della meccanica ed avere ogni cura per essa. Proprio nei tempi di pace assoluta si può attendere a consolidare questa pace mediante la costruzione delle catapulte. E non solo questo ragionamento procurerà un senso di tranquillità, ma anche coloro che hanno delle intenzioni malvage non potranno osare alcun attacco in considerazione degli sviluppi di questa tecnica. Ove essa invece verrà trascurata, qualsiasi attacco, per quanto debole, avrà successo, non avendo i cittadini fatto alcun preparativo di difesa.

I nostri predecessori hanno lasciato molte opere sulla costruzione delle catapulte, e indicato per iscritto le loro dimensioni e metodi di costruzioni, senza però che alcuno di essi abbia mai descritto con ordine la costruzione e l'impiego di queste macchine, ciascuno avendo invece redatto i suoi scritti come se tutti fossero esperti in questo campo; credo pertanto sia utile che incominci la mia teoria delle catapulte e della loro costruzione come se non ne fossero mai state costruite fino ad oggi, al fine che tutti possano agevolmente seguire l'esposizione.

Tratteremo quindi della costruzione di macchine, in generale e in particolare, della loro denominazione e della loro composizione e classificazione, nonché del loro impiego e dei rapporti dimensionali delle varie parti; ciò dopo che avremo parlato della distinzione delle varie macchine, descrivendone gli sviluppi dalle origini.

Delle macchine nominate, le une sono chiamate euthytone e le altre palintone. Le euthytone son dette anche scorpioni a causa della loro forma. Le euthytone lanciano solo dardi. Le palintone sono chiamate da alcuni anche catapulte per sassi in quanto servono per lanciar

sassi: esse lanciano dardi o sassi o anche entrambi i tipi di proiettili.

Il compito che si propone l'arte della costruzione delle catapulte è di gettare il proiettile con forza ed a grande distanza contro un dato bersaglio. A ciò tendono tutti gli sforzi in queste macchine.

Proiettile è detto tutto ciò che può venire lanciato con le catapulte o con altri dispositivi, come ad esempio archi, fionde, o altri tipi qualsiasi di macchine.

Originariamente, la costruzione di tutte le macchine sopraddette è derivata dall'arco. Ci si vede costretti a gettare con questo dei proiettili piú pesanti a distanza maggiore: e quindi gli archi si fecero piú grossi e dotati di maggior forza di tensione, cioè di maggior resistenza alla flessione delle estremità dell'arco o, come si dice, forza delle corna. Poiché allora gli archi risultarono difficili da tendere, si impiegarono forze maggiori di quella della mano per piegarli. [14]

La maggior parte delle catapulte è smontabile, con ciò significandosi che esse si possono suddividere nelle loro parti, se necessario, e trasportare con facilità. Solo i mezzi telai di tensione non vengono separati l'uno dall'altro, perché le corde di tensione si possono facilmente introdurre fra di essi. [15]

Si devono anche munire di rinforzi in ferro quei punti in cui ciò è necessario per particolari ragioni di resistenza, e assicurare questi rinforzi con chiodi, impiegando legni robusti e assicurando come detto i punti sopra accennati; quelle parti invece che non devono offrire soverchia resistenza, van fatte di legno leggero e di minimo spessore, per motivi di ingombro e peso. Infatti la maggior parte di queste macchine non va fatta per uso immediato, e quindi esse devono essere facilmente smontabili per il trasporto e non risultare costose. [16]

Occorre sapere che la determinazione delle dimensioni è fatta in base all'esperienza. Gli antichi infatti rivolsero la loro attenzione soltanto alla forma e composizione e non raggiunsero quindi una lunga gittata dei proiettili, perché non si attennero a proporzioni armoniche. Piú tardi però i costruttori diminuirono alcune parti e ne ingrossarono altre, rendendo cosí le catapulte piú armoniche ed efficienti. Le macchine suddette, e precisamente le loro singole parti, vengono costruite con dimensioni basate sul diametro dei fori attraverso i quali passano le funi di budello che costituiscono quindi la base di partenza per ogni misura.

Il calibro della catapulta per pietre va determinato nel modo seguente: peso in mine della pietra da lanciare moltiplicato 100, radice cubica del prodotto, piú 1/10 del risultato. Il calibro risulta quindi in

dattili

$$\delta = 1{,}1 \sqrt[3]{100\ \mu},$$

ad esempio: peso della pietra = 80 mine, 100 per 80 = 8.000, $\sqrt[3]{8.000}$ = 20, 20/10 = 2; 2 + 20 = 22: valore del calibro 22 dattili. Se il calcolo della radice cubica non fornisce un numero intero, lo si arrotonda aggiungendo 1/10 (fig. 4). [17]

I meccanici di Alessandria

Abbiamo già affermato che nell'antichità non si pervenne ad un vero e proprio sviluppo delle macchine, salvo eccezioni — come la costruzione di macchine belliche nel periodo greco e romano e i grandi impianti per il drenaggio dell'acqua mediante còclee di Archimede o catene di secchi nelle miniere romane in Spagna. A causa delle circostanze predominanti, poiché non c'era in generale alcun bisogno di grosse macchine, la creazione tecnica fu rivolta in parte verso il campo di piccoli apparecchi e meccanismi, divertenti piú che altro. L'arte della costruzione di minuti dispositivi meccanici cominciò a fiorire ad Alessandria nel III secolo a. C.: qui operava il meccanico Ctesibio, che, oltre ad oggetti di trastullo, costruiva apparecchi pratici ed anche scientifici: l'organo ad acqua e la pompa idraulica sono invenzioni sue, molto notevoli. Questa tecnica di costruzione di dispositivi a carattere piú o meno divertente ma senz'altro molto popolare trovò nei tempi successivi sempre nuove schiere di uomini che la continuarono, dedicandosi alla piccola meccanica con concetti scientifici.

In questo campo vanno ricordati intorno al 200 a. C. Filone di Bisanzio e nel I secolo d. C. il meccanico alessandrino Erone, continuatore di Filone ma figura anche originale per molti aspetti. Nelle sue opere Erone fa passare davanti ai nostri occhi una quantità di dispositivi che, come i cosiddetti apparecchi a pressione, impiegavano l'energia dell'aria compressa, o riscaldata, o quella del vapore acqueo e funzionavano mediante sifoni, valvole, rubinetti, ruote dentate, eliche e cilindri con stantuffi; oppure dispositivi che, come il teatro degli automi, venivano azionati da pesi mediante corde tese su rulli. Molti dei dispositivi realizzati da Erone servivano per scopi di culto, come l'apparecchio automatico per l'acqua consacrata o quello per aprire le porte del tempio. Erone esercitò grande influenza per tutto il Medioevo, il Rinascimento e l'età barocca. Gli orologi artistici del Medioevo, le fontane con figurazioni mobili dei giardini principeschi del Rinascimento, i termoscopi di S. Santorio, di C. Drebbel, di Galileo all'inizio del XVII secolo, si rifanno tutti alla meccanica ellenistica.

Non è facile definire i limiti rispettivi delle creazioni di Ctesibio, Filone ed Erone.[10]

Alcuni brani dalle opere di Erone circa gli "apparecchi a pressione" e circa il "teatro automatico" (I sec. d. C.) possono illustrare la tecnica della meccanica alessandrina.

Se su un certo altare viene acceso il fuoco per un sacrificio, alcune figure sottostanti porteranno un'offerta di bevande.

Alcuni recipienti per sacrifici sono fatti in modo che l'acqua consacrata per le aspersioni esce quando si introduce in essi una moneta da 5 dracme.

Quando due recipienti, uno pieno di vino e l'altro vuoto, stanno su un unico basamento, si può far uscire il vino da quello pieno a misura che si versa dell'acqua in quello vuoto.

Il sifone che viene usato per gli incendi può venir predisposto nel modo seguente. Si abbiano... due [tubi, bossoli] di bronzo la cui superficie interna sia stata adattata, tornendola, ad un apposito stantuffo... Essi siano collegati... fra loro mediante un tubo aperto alle due estremità. Nel tubo, all'esterno dei cilindri,... devono essere disposte delle valvole... in modo che si possano aprire solo verso l'esterno dei cilindri (fig. 5).

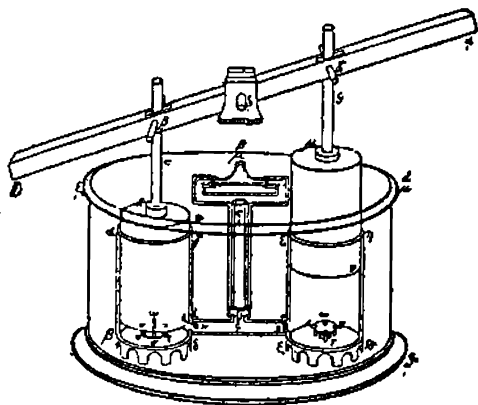



Fig. 5. *Idrante di Erone*

Costruzione d'un tempietto le cui porte si aprano quando si accende il fuoco per un sacrificio e si chiudano quando il fuoco si spegne (fig. 6).

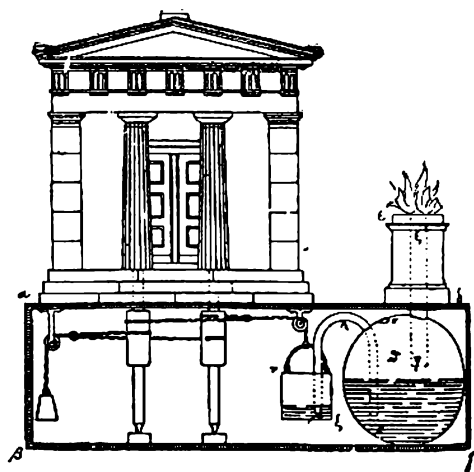



Fig. 6. *Dispositivo pneumatico di Erone per aprire le porte del tempio.*

Su un basamento è piantato un piccolo albero sul quale è avvolto un serpente; vicino all'albero sta Ercole armato di arco. Sul basamento è pure appoggiata una mela. Se si solleva un poco la mela, subito Ercole scocca una freccia contro il serpente che sibila.

Costruzione d'un organo una canna del quale suona quando soffia il vento.

Quando si accende il fuoco su un certo altare, si possono veder danzare delle figure; l'altare deve essere trasparente, di vetro o di corno.

Sopra una pentola riscaldata, una sfera ruota intorno ad un asse (fig. 7).

Preparazione di una ventosa che attacca senza essere riscaldata.

Costruire un portalampada tale che dal manico della lampada posta su di esso fluisca una certa quantità di olio, quando l'olio della lampada si consuma, senza che ci sia bisogno di porre su di essa un recipiente per versare l'olio. [18]

Lo spettacolo degli automi [teatro degli automi] godette di grande favore presso gli antichi, sia perché da esso si sviluppò una grande e varia abilità artistica, sia perché lo spettacolo [offerto] era effettivamente meraviglioso (fig. 8). Infatti la realizzazione delle singole parti che costituiscono gli automi comporta, per dirla in breve, l'applicazione di tutte le parti della meccanica. Che cosa significhi la costruzione degli automi risulta da quanto segue. Si costruiscono templi o

b xii kl'
c xi kl' Octa' scẽ marie.
d x kl'
e viiii kl'
f viii kl' Sci bartholomei apli
g vii kl'
A vi kl'
b v kl' Sci augustini epi & cf.
c iiii kl' Decollatio sci johis bapte.
d iii kl' Scor. m. felicis & audacti.
e ii kl'

Il bottaio. XV secolo.

degli altari di grandi dimensioni che si muovono da soli e si fermano in determinate posizioni; quindi ciascuna delle figure presenti si muove secondo un piano determinato o secondo una data sequenza; e [quindi] templi ed altari ritornano sulle loro primitive posizio-

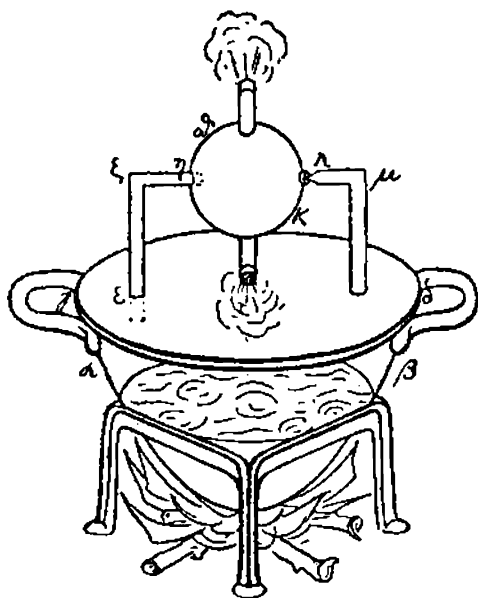



Fig. 7. *Eolipila di Erone.*

ni. Gli automi di questo tipo si dicono mobili. Esiste anche un altro tipo di automi, cosiddetti fissi, e che funzionano nel modo seguente. Su una bassa colonna sta una tavola con porte che si possono aprire e su questa si vede una rappresentazione di figure, che con la loro disposizione corrispondono a qualche storia. La tavola è [dapprima] chiusa; quindi le porte si aprono da sole e diventa visibile l'aggruppamento delle figure nel quadro. Se dopo qualche tempo le porte si sono automaticamente richiuse e riaperte, le figure compaiono raggruppate in modo diverso, ma corrispondente alla rappresentazione voluta. Quando le porte si sono nuovamente chiuse e riaperte, si mostra una nuova disposizione delle figure, adatta a seguire alla precedente e con ciò o la storia è finita, o compaiono altre figurazioni, finché la storia non sia completa. Le singole figure che si vedono dipinte sulla tavola si possono muovere, se cosí occorre per la rappre-

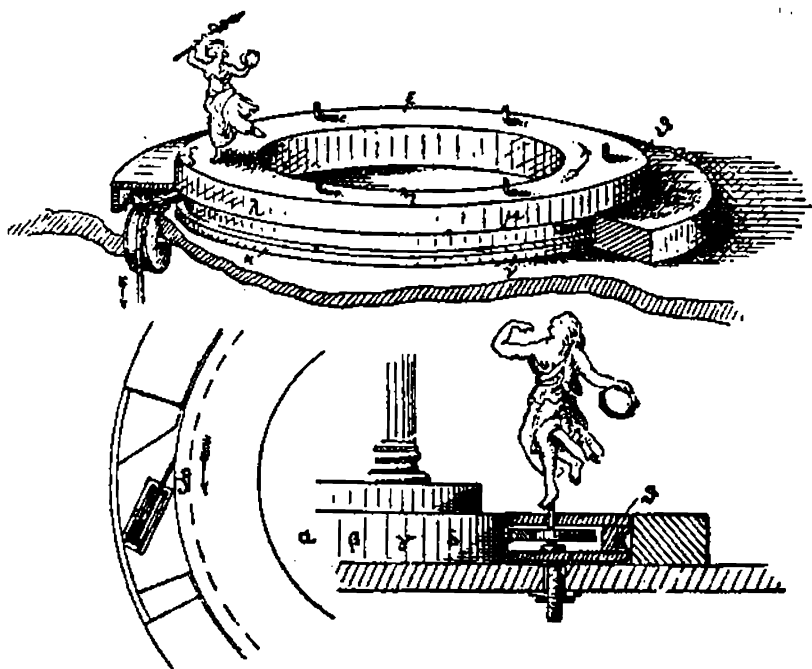



Fig. 8. *Teatro degli automi di Erone.*

sentazione: per esempio una può segare, altre possono maneggiare la scure, altre ancora lavorare con martelli o asce da falegname, e ad ogni colpo si può sentire il rumore realmente corrispondente. Sulla scena possono venir fatti anche altri movimenti, per esempio si può accendere il fuoco, oppure figure prima invisibili possono comparire improvvisamente e quindi nuovamente sparire. In breve, si può far apparire qualunque movimento, senza avvicinarsi alle figure. L'azionamento [il meccanismo] degli automi fissi è piú sicuro e piú stabile di quello degli automi mobili, e consente in genere maggiori possibilità di rappresentazione. Gli uomini che si occupavano di tali cose, furono detti dagli antichi artefici di prodigi [taumaturghi] poiché lo spettacolo suscitava grande meraviglia. [19]

I nostri predecessori ci hanno tramandato il modo di realizzare il movimento di andata e ritorno su una curva, e il modo stesso risulta complicato e poco sicuro; poiché raramente ottiene un buon esito colui che segue i metodi da essi indicati nelle loro opere, e che si sanno da loro sperimentati. Noi mostreremo però che il moto di va e

vieni può essere con minor fatica e miglior esito realizzato su una retta e proveremo inoltre che è possibile che una cassettina o figura si muova su un certo cerchio o addirittura su un parallelogramma rettangolo. [20]

La realizzazione degli automi fissi è di molto piú sicura e dà luogo a rappresentazioni di migliore effetto che non quella degli automi mobili. Il funzionamento [degli automi fissi] è il seguente. Si pone su un basso ceppo di legno una tavoletta [cassetta, scena]; la tavoletta si deve aprire automaticamente e si deve vedere come le sue figure si muovano in base a una storia scelta per la rappresentazione. Se la cassetta si è poi richiusa da sola, basta che passi pochissimo tempo ed essa tornerà ad aprirsi ed altri quadri compariranno. E questi si muoveranno in tutto o in parte, secondo le necessità. Ciò si ripeterà parecchie volte. E al difuori della scena si possono vedere macchine volanti che si sollevano e girano intorno, o anche altri movimenti. Quanto piú elegante è l'esecuzione che uno riesce a realizzare, tanto piú sicuro egli sarà di ottenere successo. Mostreremo pertanto solo un tipo di esecuzione, che riteniamo il migliore, e ne chiariremo il meccanismo. Sarà anzi sufficiente descrivere una rappresentazione, la migliore, poiché si adottano sempre gli stessi procedimenti per dispositivi, come abbiamo provato parlando degli automi mobili. [21]

I meccanici alessandrini del tardo ellenismo, come Erone di cui si è detto poc'anzi, erano insieme degli scienziati e dei tecnici. Erone trattò nelle sue opere non solo di quei dispositivi meccanici denominati apparecchi a pressione e teatro degli automi, ma scrisse anche di geometria e meccanica scientifica. La mescolanza di teoria e pratica, che è caratteristica della scuola alessandrina, si può rilevare anche nell'introduzione alla parte relativa alla meccanica della vasta opera lasciata da Pappo, famoso matematico e meccanico alessandrino del III secolo.

La scienza meccanica, in quanto trova importanti applicazioni nella vita, è tenuta in gran conto dai filosofi e studiata con particolare zelo da tutti i matematici, poiché essa ci introduce allo studio della natura della materia e degli elementi del mondo. Essa infatti non solo studia lo stato ed il peso dei corpi, indagando le cause per cui i corpi naturalmente si muovono, ma insegna anche come si possono indurre dei corpi a muoversi dalla loro posizione, in modo contrario alla loro natura; per ottenere ciò, la meccanica si serve di teoremi che sono suggeriti dallo studio della materia stessa.

I seguaci di Erone sono del parere che una parte della meccanica comprenda le dimostrazioni matematiche e un'altra i lavori manuali; e precisamente, quella parte che essi chiamano razionale dovrà comprendere le dimostrazioni di geometria, aritmetica, astronomia e fisica, mentre l'altra deve insegnare l'arte di lavorare il ferro, i minerali, il legno, l'arte di costruire e quella di dipingere, e tutto ciò che ha attinenza con i lavori manuali. Essi dicono che colui che sin dalla giovane età si dedicherà a queste discipline e, avendo uno spirito attivo, acquisterà pratica in queste arti, diverrà in seguito un ottimo inventore [e costruttore] di apparecchi meccanici; ma poiché non è possibile che uno possa apprendere da solo la vasta scienza delle matematiche e imparare tutte le arti suddette, essi consigliano che colui il quale si voglia occupare di una questione meccanica si lasci istruire da persone competenti in quel particolare campo dell'arte.

Fra tutte le arti che si fondano sulla meccanica, le seguenti sono le piú importanti per la vita pratica: l'arte del costruttore di carrucole [*ars manganariorum*], detto anche meccanico, dagli antichi, in quanto quelle servono a sollevare in alto, mediante forze modeste, pesanti carichi che nella natura [cioè senza artifici] non si possono muovere; quindi l'arte di quelli che costruiscono catapulte [*tormenta*], quali sono usate in guerra, e che pure sono chiamati meccanici in quanto dalle macchine di questo tipo che essi costruiscono vengono gettati a grande distanza proiettili di pietra, di legno, o di altro materiale; infine l'arte di quelli che sono propriamente detti costruttori di macchine [*machinarum fabri*]: le macchine idrauliche che questi costruiscono servono per sollevare in alto con molta facilità l'acqua presa da grande profondità.

Meccanici venivano chiamati dagli antichi anche gli artefici dei prodigi, alcuni dei quali si dedicavano assiduamente allo studio dell'aria, come Erone nella sua *Pneumatica*, mentre altri cercavano di imitare con corde e fili sottili il movimento di esseri animati, come Erone nella sua *Scienza degli Automi* e nella sua *Equilibristica*, e altri ancora si occupavano dei dispositivi che sono mossi dall'acqua, come Archimede nei suoi ὀχουμένοις, o degli orologi ad acqua, come Erone nei suoi ὑδρείοις, il cui studio sembra ricollegarsi a quello degli orologi a sole e ad acqua. Meccanici sono detti infine anche quelli che riescono a costruire delle sfere celesti, rappresentando i movimenti del cielo mediante movimenti circolari uniformi dell'acqua.

Alcuni dicono che le cause e le leggi di tutto ciò sono note fin dai tempi di Archimede di Siracusa. Questi infatti, il cui ricordo è

durato fino ai nostri tempi, trattava ogni argomento con eccezionale acutezza, come fra gli altri testimoniò Gemino nel suo libro sulla gerarchia dei matematici. Carpo di Antiochia lasciò scritto però che Archimede scrisse un solo libro di meccanica, che tratta della costruzione di sfere celesti, ma tutte le altre parti di quest'arte non le ritenne meritevoli della fatica di scriverle. Tuttavia quest'uomo di soprannaturali facoltà, cosí celebrato da tutti per l'acutezza del suo ingegno e per la sua sapienza meccanica, tanto che la memoria di lui sarà sempre viva in tutti i mortali, espresse nel modo piú conciso e compilò nel modo piú accurato le teorie piú importanti e fondamentali della geometria e dell'aritmetica, discipline da lui tanto amate che egli sembrava non potersi decidere a coltivare altri studi oltre ad esse. Carpo stesso però e parecchi altri, hanno a ragione applicato la geometria a determinate arti e ai bisogni della vita. Poiché ciò è lungi dal recar danno alla geometria: che può essere di ausilio in molte arti ed esigenze della vita, e che, per essere utile allo sviluppo di tali arti, non perde nulla della sua bellezza e della considerazione in cui va tenuta.

Dopo aver cosí chiarito la posizione della scienza della meccanica e la sua suddivisione, ritengo di intraprendere un lavoro degno di lode dedicandomi alla trattazione di ciò che gli antichi, con procedimenti geometrici, hanno dimostrato essere necessario per muovere dei pesi, nonché alla trattazione dei teoremi che io stesso ho trovato potersi applicare a questo proposito, rappresentando tutto ciò in modo piú chiaro e conciso, e con miglior fondamento di quanto non sia stato finora fatto da coloro che hanno scritto di tali cose. [22]

Anche se dobbiamo definire Filone ed Erone come dei tecnici nettamente specializzati (specializzati nella costruzione di apparecchi meccanici), resta il fatto, fondatamente sostenuto da A. Rehm,[11] che nell'antichità le attività tecniche erano poco specializzate: il lavoro tecnico era ancora per lo piú affidato agli schiavi, e il libero cittadino disprezzava ogni attività manuale, anche quella dell'inventore. Tranne poche eccezioni, l'apporto della scienza alla tecnica era quindi assai limitato.

L'"*Architectus*"

Quantunque i romani mostrassero maggiore inclinazione ai problemi tecnici d'indole pratica che non i greci, neppure presso di essi si pervenne a una vera trasformazione della creazione tecnica o anche solo ad una specializzazione dell'attività tecnica. L'intero campo della tecnica era aperto in effetti solo all'architetto, i cui compiti comprendevano, oltre alle costruzioni civili, anche la fabbricazione di orologi ad acqua, di macchine per il sollevamento di pesi, di macchine belliche e di molti altri dispositivi. Vitruvio, nella sua opera *De Architectura*, scritta fra il 25 e il 23 a. C. e dedicata all'imperatore Augusto, descrisse chiaramente le molteplici attività dell'architetto antico. Nella stesura del suo libro egli si basò in parte sulla propria esperienza, ma principalmente si giovò di fonti greche. In linea di principio la scienza e la tecnica si trovano con Vitruvio in migliori rapporti di quanto avvenisse in Grecia, ma in realtà anche presso i romani non si poteva parlare di una applicazione vera e propria della scienza all'attività tecnica.

Citiamo dall'*Architectura* di Vitruvio i passi relativi alle cognizioni che si devono esigere da un architetto, alla suddivisione dell'"architectura" e all'essenza delle macchine, che vengono definite dapprima come "combinazione di legni."

Quindi bisogna che egli [l'architetto] sia uomo di talento, e di dottrina: in quanto né talento senza dottrina, né dottrina senza talento possono rendere perfetto un artefice. Sia perciò egli anche letterato, esperto nel disegno, erudito nella geometria, e non ignorante d'ottica, istruito nell'aritmetica, conosca non poche storie, abbia seguito con diligenza i discorsi dei filosofi, sappia di musica, non ignori la medicina, abbia esperienza delle sottigliezze dei giureconsulti, intenda l'astronomia e le leggi del cielo.

E ciò per i seguenti motivi. È necessario che l'architetto sappia di lettere, perché scrivendo le sue concezioni lasci di sé memoria piú

duratura. Inoltre, abbia conoscenza del disegno, per presentare mediante figure l'aspetto che vuol dare alle sue opere. La geometria reca molti aiuti all'architettura; in primo luogo insegna l'uso della riga e del compasso, strumenti con i quali si disegnano piú facilmente le piante degli edifici, gli angoli retti, le superfici orizzontali. Parimenti mediante l'ottica si prende negli edifizi la luce dalle giuste zone del cielo. Con l'aritmetica si calcola il costo degli edifici, si spiegano i rapporti delle misure, e col calcolo e col metodo aritmetico si risolvono i difficili problemi delle proporzioni. Bisogna che egli abbia notizia di molte istorie, poiché sovente gli architetti disegnano nelle opere loro molti ornamenti, dei quali devono, a chi loro ne domandi, render ragione. [23]

La filosofia poi fornisce l'architetto d'animo grande, e fa sí che egli non sia arrogante, ma cortese, giusto, coscienzioso e, ciò che maggiormente importa, fa sí che non sia avido; perciocché non può adeguatamente compiersi nessuna opera se non da chi abbia coscienza ed onestà. Non sia egli troppo interessato, né abbia l'animo dedito soltanto a ricevere ricompense, ma con gravità mantenga il proprio decoro, facendosi un buon nome: poiché questo prescrive la filosofia. Essa inoltre tratta della natura delle cose, detta in greco *fisiologia*, alla quale l'architetto deve applicarsi assai, perché molte e varie sono le questioni naturali, come per esempio quella delle condutture d'acqua. Infatti nei corsi e giri di queste e nelle salite dal piano orizzontale si generano correnti d'aria, or in un modo, ed or in un altro, ai danni delle quali nessuno potrà rimediare, se non quegli che saprà dalla filosofia i principî delle cose naturali. Come parimenti chi leggerà i libri di Ctesibio e di Archimede e degli altri autori che hanno scritto dei precetti in simili materie, non potrà entrare nel loro vero senso, ove non sia stato istruito di queste cose dai filosofi.

Deve poi sapere di musica, per intendere le regole della scala armonica, ed i rapporti matematici, ed inoltre per saper dare la giusta carica alle baliste, catapulte e scorpioni. In quanto codeste macchine hanno a destra e sinistra i capitelli, nei quali stanno i buchi degli unisoni attorno ai quali si tendono con argani e molinelli le corde di budello, le quali non vengono fermate o legate se non quando rendono all'orecchio dell'artefice suoni unisoni ed uguali. Perciocché i bracciuoli, che nel tirare e nel caricare si serrano, quando si rilasciano cosí stirati egualmente dall'una e dall'altra parte, debbono scoccare diritto il colpo; che se invece non saranno unisoni, faranno torcere dal diritto cammino i dardi. Similmente nei teatri i vasi di metallo

che i greci chiamano *echèia* [risonanze], collocati in celle sotto i gradini con proporzioni matematiche secondo le differenze dei suoni, sono distribuiti secondo accordi e consonanze musicali, ripartendo intorno la quarta e la quinta e l'ottava doppia, in maniera che il suono giungendo da quella parte della scena a percuotere i vasi cosí disposti, accrescendosi col rimbombo, pervenga piú chiaro e gradevole all'orecchio degli spettatori. E ugualmente nessuno potrà mai formare senza i rapporti musicali gli organi idraulici né altre macchine somiglianti a questi.

La medicina poi è necessaria a conoscersi per sapere quali siano i declinamenti del cielo, che i greci chiamano *klímata*, quali arie dei luoghi siano sane e quali malsane: e cosí per l'uso delle acque; poiché senza queste riflessioni non si può costruire alcuna abitazione salubre. Bisogna pur ch'ei non ignori le leggi fondamentali che regolano i muri comuni degli edifici, per riguardo delle grondaie, delle fogne e delle finestre. Anche i diritti sulle acque, ed altre cose simili devono essere note agli architetti, acciocché ne siano cautelati prima di piantare gli edifici, sí che non rimangano, dopo effettuate le opere, le liti ai padri di famiglia; ed acciocché, nello stabilire i fatti con prudenza, resti assicurato tanto chi dà, quanto chi prende in affitto: perché se i fatti saranno espressi saggiamente, rimarranno senza frode gli uni e gli altri.

Mediante poi l'astrologia si conosce l'oriente e l'occidente, il mezzodí, il settentrione, e la disposizione del cielo, l'equinozio, il solstizio, il corso delle stelle; e chi non saprà queste cose, non potrà neppure sapere come si formino gli orologi. [24]

Le parti dell'architettura sono tre: costruzione, gnomonica e meccanica. La costruzione è divisa in due parti: una delle quali tratta della collocazione delle mura e di tutte le opere pubbliche; e l'altra concerne gli edifici privati. Quanto agli edifici pubblici tre tipi se ne distinguono: quelli di difesa, quelli di culto, quelli di utilità. Alla difesa appartengono le mura, le torri e le porte, ritrovate per resistere agli assalti dei nemici. Riguardano il culto, i templi, ossia i sacri edifici degli Dei immortali. L'utilità abbraccia tutti quei luoghi destinati al pubblico quali sono i porti, le piazze, i portici, i bagni, i teatri, i passeggi ed altri ancora che per i medesimi motivi si costruiscono nei luoghi pubblici.

In tutte queste costruzioni si deve aver di mira la solidità, la comodità e la bellezza. La solidità si conseguirà con il calare le fondamenta fino al terreno solido, e facendo senza avarizia una diligente

scelta dei materiali di qualunque sorta che si impiegheranno. La comodità dipenderà dall'esatta distribuzione delle parti dell'edificio, senza che resti impedito l'uso dei luoghi, ma anzi in modo che ciascuno risulti conveniente. La bellezza infine si otterrà dalla gradevole ed elegante forma dell'opera, se le misure delle parti avranno le giuste proporzioni di simmetria. [25]

Per macchina s'intende una combinazione formata di legni, o simili, che serva principalmente a muover agevolmente dei pesi. Essa poi si muove con un artificio per via di ruote, chiamato dai greci κυκλική κίνησις [movimento rotatorio]. Vi sono tre specie di macchine: la prima è la salitoria, che in greco si dice *akrobatikòn* [gradinata]; la seconda è la spiritale, detta *pneumatikòn* dai greci; la terza è la trattòria, detta dai greci *baroulkòn* [sollevatrice di pesi]. La salitoria si ha quando la macchina sia costruita in modo che, combinate insieme per traverso delle travi poste per dritto a vari livelli, si possa montarvi sopra a veder gli spettacoli senza nessun pericolo. La spiritale si ha quando l'aria compressa viene spinta fuori con violenza, formando organicamente suoni e rumori. Trattòria poi è la macchina che combina i mezzi o per trascinar pesi ovvero per sollevarli onde collocarli in alto. La salitoria non vanta grande industria d'arte, ma bensí ardimento; non constando essa che di concatenazioni di legni posti per dritto, od obliquamente incrociati, con travi verticali e speroni di sostegno: cosí appuntellata essa si regge. La spiritale però, che funziona per la forza dell'aria, se ottiene il suo scopo, è opera di gran perizia d'arte. La trattòria mostra invece effetti anche maggiori e di maggior importanza, poiché riesce di grandissimo comodo nell'uso che se ne fa, e se viene impiegata con intendimento opera con forza non comune.

Di codeste macchine alcune si adoprano meccanicamente ed altre strumentalmente. Sembra che tra macchina e strumento vi sia questa differenza: cioè che le macchine ottengono il loro effetto per mezzo di molti operai e con una forza grande, siccome avviene nelle baliste e nei torchi per premere; gli strumenti invece possono muoversi coll'opera di un solo, che a dovere agisca per ottenere l'intento; siccome sono i rivolgimenti delle molle negli scorpioni e le *anisocyclae* [macchine con taglie di diverse misure]. Tanto gli strumenti adunque quanto le macchine sono necessari per i bisogni comuni, e senza di essi troverebbesi impaccio in moltissime operazioni.

Imperocché la meccanica tutta è nata dalla natura medesima che ne è la maestra e la regolatrice, ed è già indicata nella rotazione dei Cieli. Che se in primo luogo osserviamo e consideriamo ciò che riguar-

da il sole, la luna e gli altri cinque pianeti, giusta la lor natura, se codesti non girassero meccanicamente, non vi sarebbe mutevole luce sulla terra, né si maturerebbero i frutti. Avendo pertanto i nostri maggiori considerate queste cose, presero esempio dalla natura, persuasi d'imitarla come cosa divina, ed inventarono delle opere utili alla vita umana; e, per renderle piú facili e pronte, si valsero chi delle macchine, e dei loro movimenti, e chi degli strumenti. E cosí tutto ciò che scoprirono essere comodo ad adoperarsi, procurarono di migliorarlo con gli studi, con le arti, colle proporzioni e con la scienza.

Consideriamo il primo ritrovato della necessità, qual è il vestire, ed in che maniera, mediante l'uso di strumenti per tessere, e l'inserzione dei fili nella trama, non solo si ricoprono e si difendono i corpi, ma anche vi si aggiunge venustà d'ornamento. Non avremmo poi abbon danza di cibo, se non si fossero inventati i gioghi e gli aratri, da usarsi con buoi ed altri animali da tiro; e se non vi fosse il frantoio con il torchio, gli argani, le leve ed ogni altro siffatto artificio, non potremmo aver l'olio cosí buono, né il frutto delle viti per il nostro piacere. Il trasporto poi di codeste cose non si effettuerebbe con prontezza per terra, ove non vi fossero i carri e le carrette; e per acqua se non vi fossero le navi. L'invenzione delle stadere e delle bilance per l'esame dei pesi ci assicura il vivere dandoci l'intiero, difendendoci dall'ingiusto. In egual modo vi sono in cosí gran numero meccanismi, che sono al presente ben noti; come le ruote, i mantici dei fabbri, i cocchi, i calessi, i torni e tutte le altre macchine che nelle varie occasioni sono ordinariamente in uso. Per cui cominceremo a trattare di quelle, le quali di rado occorrono, affinché siano meglio conosciute. [26]

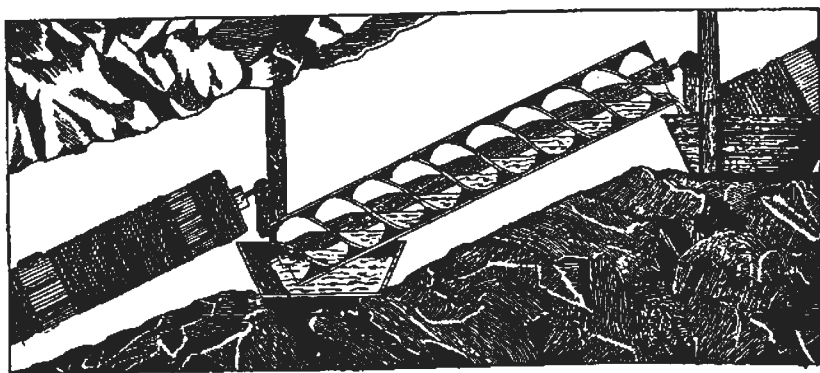



Fig. 9. ***Còclea di Archimede.***

La tecnica del periodo dell'impero romano era soprattutto un'attività dello stato, che, con i mezzi tecnici allora abituali, specialmente dal punto di vista organizzativo, creò grandi opere nel campo delle costruzioni di strade, ponti, acquedotti, macchine da guerra e opere civili. Nell'impero esistevano circa 300.000 chilometri di ottime strade, dieci acquedotti alimentavano giornalmente Roma con circa un milione di metri cubi d'acqua (tav. II). La tecnica della costruzione di cupole rese possibile di dotare il Pantheon, che fu costruito nel II secolo d. C., di una cupola di 43,5 metri di luce.

I romani usavano prevalentemente condutture d'acqua a pelo libero e in pendenza, anche se ciò li costringeva a costruire acquedotti estremamente costosi; ma da ciò non si deve dedurre affatto che essi non conoscessero il principio dei vasi comunicanti e l'uso, da quello derivante, delle condotte in pressione, quali già erano state costruite dai greci. La preferenza per le condutture a pelo libero era forse determinata dalle difficoltà di assicurare la tenuta in una condotta in pressione, ma sicuramente si trattava anche di una differenza di stile nelle creazioni tecnico-costruttive. Il romano voleva esprimere anche nelle sue costruzioni tecniche la potenza politica dell'impero. A questa concezione erano ispirati i grandi acquedotti che dominavano dai loro alti archi la campagna circostante, laddove una tubazione in pressione avrebbe dovuto invece seguire strisciando la superficie naturale del terreno. Cosí pure gli edifici statali romani erano costruiti in base al principio della simmetria rispetto a un'asse, quale espressione di un concetto di potenza che era estraneo all'architettura greca, che seguiva disposizioni meno rigide e piú libere.

L'attività tecnica dello stato, come pure quella delle grandi officine private, era affidata al lavoro di eserciti di schiavi. Per i lavori di costruzione venivano impiegati, in tempo di pace, anche dei soldati. Particolarmente dura era la sorte degli schiavi nelle miniere, che per lo piú costituivano beni statali. Sappiamo che i romani estraevano in Spagna minerali d'argento da miniere che superavano i 200 metri di profondità. Il drenaggio delle infiltrazioni d'acqua veniva in esse effettuato mediante còclee di Archimede lunghe fine a 5 metri, ciascuna delle quali sollevava l'acqua di 1,5 metri, oppure mediante catene di secchi. Le còclee venivano azionate da schiavi mediante i piedi (fig. 9).

Plinio († 97 d. C.) dà alcune notizie circa il lavoro nelle miniere dell'antichità (fig. 10).

Fig. 10. *Minatori greci al lavoro.* Uno scava, a destra; uno raccoglie il materiale in una sacca, al centro; due trasportano la sacca fuori della miniera, a sinistra. Dall'alto pende un'anfora, verosimilmente per l'acqua. Da un vaso di terracotta; Corinto, VI secolo a. C.

L'oro trovasi nella nostra parte del mondo in tre modi. Primo, nella rena dei fiumi, come nel Tago in Ispagna, nel Po in Italia, nell'Ebro in Francia, nel Pattolo in Asia, nel Gange in India; questo cosí trovato è il piú puro, perché si ripulisce nel suo continuo scorrere e strisciare. Nel secondo modo si trova facendo pozzi come per l'acqua e nel terzo dalle rovine dei monti; descriverò ora piú da presso entrambi questi modi... Il terzo modo di cavar l'oro supera quasi l'opera dei giganti. Si perforano infatti e si scavano i monti, procedendo per lo piú a lume di lucerne; il tempo di lavoro viene regolato sulla durata delle lampade, poiché chi lavora per molti mesi non vede la luce del giorno. Questo modo vien detto delle *arrugiae*, le quali spesso rovinano e subitamente ricoprono gli operai, tanto che pare già meno temerario il coglier perle dal fondo del mare; a tal punto con questo scavare i monti abbiamo resa pericolosa la terra. Onde evitare quanto piú è possibile simili sciagure, si portano nei monti robuste vôlte. Con entrambi i modi di estrazione si trovano sassi che vengono spaccati con fuoco ed aceto; ma poiché in quelle cave il vapore ed il fumo che cosí si sprigionano soffocherebbero gli operai, questi preferiscono spezzare con martelli di ferro i massi fino ad ottenere pietre di circa centocinquanta libbre, trasportandole poi al di fuori con il darle sulle spalle l'uno dell'altro, nelle tenebre; per modo che solo gli ultimi di essi vedono la luce del giorno. Se il masso si trova essere troppo grosso, si scava di lato e lo si aggira. E tuttavia il lavoro in queste pietraie si tiene ancora in conto di leggero in confronto di quello che si svolge attraverso una certa argilla, mescolata con ghiaia bianca [glarea], che è detta *gangadia* e che è quasi impenetrabile. Si adoprano allora cunei di ferro e martelli; la si considera la materia piú dura e trista che esista, ma cosa ancor piú dura e male ancora piú tristo è senza dubbio la sete dell'oro. Finito il lavoro, si tolgono da dietro i sostegni degli archi; e intanto un uomo, vigilando sulla cima del monte, sorveglia se il monte dà segno di rovina, e appena ciò accade, richiama gli operai col gesto e col grido e corre lui stesso giú dal monte. E il crollo del monte su se stesso avviene con inconcepibile fragore e soffio d'aria, che durano a lungo: e i vincitori vedono compiersi davanti a loro la rovina della natura. E nondimeno l'oro non c'è ancora, né sapevano i minatori che ce ne fosse mentre scavavano, e tuttavia la speranza di trovare ciò che si desidera non fa indietreggiare davanti a siffatti pericoli e spese. Pure esiste ancora un altro lavoro, altrettanto faticoso da compiere, e cioè il portare dalle vette dei monti, spesso per una distanza pari a venti pietre miliari, le acque necessarie per lavare il materiale scavato dal

monte. Simili canali son detti *corrugae*, probabilmente per il fatto che si uniscono assieme parecchi ruscelli [*a corrivatione*] in uno solo; anche questo lavoro richiede migliaia di braccia. Si deve prima far calcoli con la livella in modo che l'acqua precipiti giú piú che non scorra, e si deve quindi prenderla da punti quanto piú elevati possibile. Si devono poi attraversare forre e vallate fra i monti. In alcuni luoghi si spaccano le rocce che altrimenti non sarebbero accessibili, e le parti scavate si adoperano come sostegno di travi; l'operaio che compie questo lavoro sta sospeso ad una corda e a chi lo vede sembra per la gran lontananza un animale selvatico o piuttosto un uccello. Questi che stan sospesi segnano la caduta dell'acqua e determinano la via che essa dovrà prendere; essi portano però la corrente dove nessun uomo potrà giungere. Un inconveniente per questo processo di lavaggio si ha quando l'acqua trascina con sé un fango di quella terra, che si chiama *urium*; per evitare ciò, la si fa scorrere attraverso sassi e pietre. In testa alle cascate d'acqua, sulle balze piú alte dei monti, si scavano degli stagni, di duecento per duecento piedi di superficie e profondi dieci piedi, provvisti di cinque sbocchi di tre per tre piedi ciascuno e chiusi con panconature; quando lo stagno si è riempito d'acqua, si aprono gli sbocchi, provocando la fuoruscita dell'acqua con tale violenza da rimuovere e trasportare interi massi rocciosi. Ancora una cosa resta da fare, al piano: si scavano le *agogae*, cioè fosse nelle quali deve defluire l'acqua, e se ne riveste il fondo, a gradini, con *ulex*, un cespuglio simile al rosmarino, che per la sua scabrezza trattiene l'oro. Le pareti laterali vengono coperte con tavole verticali fissate nella parte superiore. Cosí la terra scavata giunge gradatamente al mare attraverso il canale, e in esso viene cosí disciolto il monte distrutto; in questa guisa la Spagna ha già perduto nel mare interi distretti. [27]

Vogliamo ora parlare del ferro, di questo metallo che è il piú prezioso all'umanità ma anche il piú tristo. Per mezzo suo infatti rompiamo le zolle della terra, piantiamo gli alberi, li potiamo, togliamo ai vigneti le parti inutili e li facciamo ogni anno rifiorire, costruiamo case, spacchiamo pietre e infinite altre cose; ma questo metallo serve anche per far guerra, per dar morte, per rubare, e non solo da vicino ma anche con il lancio ed il volo, poiché il ferro viene gettato con catapulte o con la forza del braccio o anche ricoperto di penne, ed è questo che ritengo il piú riprovevole parto dello spirito umano. Perché la morte ben piú velocemente giunga agli uomini, mettiamo le ali al ferro e quindi cadiamo vittime non delle natura, ma della colpa. Alcuni esempi mostrano che di per sé il ferro può essere solo un metallo

innocente; cosí, nei patti d'amicizia che il re Porsenna strinse con il popolo romano dopo la sua cacciata, fu chiaramente stabilito che il ferro non avrebbe dovuto aver impieghi diversi da quelli dell'agricoltura. [28]

Nel I secolo a. C. i romani già conoscevano la ruota idraulica: Vitruvio ci fornisce una descrizione di mulino ad acqua abbastanza realizzabile. Ma in un primo tempo l'impiego della ruota idraulica non si sviluppò molto in quanto si poteva sempre disporre del lavoro muscolare degli schiavi. Soltanto quando cessò l'espansione di Roma, e diminuí quindi sempre piú il numero dei prigionieri di guerra che dovevano servire come schiavi, la ruota idraulica guadagnò lentamente terreno. Specialmente nei territori a nord delle Alpi, che presentavano favorevoli condizioni naturali, si possono incontrare qua e là mulini ad acqua già nel III e IV secolo d. C. Qualcosa di piú preciso sappiamo di un grande impianto romano-gallico per la macinazione del grano a Barbegal presso Arles, nel 200 circa d. C. (tav. I b). In esso 16 ruote idrauliche azionavano 32 macchine, che potevano produrre complessivamente nelle 24 ore 28 tonn. circa di farina. Ma un impianto del genere costituiva una singolarità. Solo nel Medioevo la ruota idraulica assurse all'importanza di motore primo di uso generale.

torium meum intende. ℟. Domi
ne ad adiuuandum me festina. Glo

Belbello da Pavia. *La mola*, XV secolo.

Parte seconda

Il Medioevo

Introduzione

L'impero romano si sfasciò per debolezza interna della propria compagine sotto l'assalto delle popolazioni germaniche. Lentamente, la civiltà si spostò verso settentrione. In luogo dell'antica autorità centrale si ebbe una molteplicità di signorie locali. La vita si spostò dalle città alle campagne. L'economia del denaro cedette all'economia dei beni naturali. Le nuove popolazioni gallo-germaniche s'impadronirono dell'eredità dell'antichità classica, il cui influsso tuttavia, nel campo della cultura tecnica come in altri campi, non fu il solo fattore determinante. Accanto al patrimonio tecnico tramandato dall'antichità, presso le giovani popolazioni romano-germaniche operavano elementi dell'antico artigianato locale dall'estremo nord, che contribuirono a caratterizzare la cultura materiale del Medioevo. Ma fu essenzialmente il Cristianesimo che, con l'affermare la dignità dell'uomo ed il vero valore delle cose del mondo, contribuí a preparare un solido terreno per un intenso sviluppo della creazione tecnica. Da ultimo la tecnica medioevale subí, oltre all'influsso dell'antichità, anche quello dell'Estremo Oriente, principalmente attraverso la mediazione del mondo islamico. Di fronte alla frantumazione politica dell'Europa medioevale stava l'unità della Chiesa universale. Le piccole ed autonome unità economiche sorte per effetto della decentralizzazione, le piccole città, i feudi, i chiostri, condussero in seguito a maggiori raggruppamenti. Il fatto che, nell'epoca postcarolingica, il centro di potenze politiche di maggiore o minore importanza e il centro della spiritualità, la Chiesa universale, non siano venuti a coincidere, lasciò piú largo respiro all'azione delle forze produttive nel campo della cultura spirituale ed anche, in misura non minore, nel campo di quella materiale. E la molteplicità delle unità economiche libere e delle potenze politiche diede forte impulso allo sviluppo culturale attraverso ad una feconda lotta per il primato. Se fino al X secolo la tecnica era in massima parte limitata ai chiostri, che raggiunsero livelli assai alti nella produzione di oggetti attinenti al culto, con l'avvento delle città sorse una cultura artigiana cittadina, che produsse opere non meno ispirate di quelle

provenienti dall'attività dei religiosi.

Dal tempo dei Carolingi, attraverso tutti i secoli del Medioevo, anche quelli dal VI al XII che si è soliti definire come "oscuri," nei paesi occidentali furono fatte scoperte tecniche di grande valore, che condussero a una graduale trasformazione delle condizioni economiche e sociali. Ma proprio le conquiste tecniche del Medioevo non hanno ancora avuto il pieno riconoscimento, neanche da parte di tutti quegli ambienti che pure vantano vasti interessi storici, e sono ancora necessarie ulteriori ricerche per confermare i risultati di quelle fino ad oggi effettuate in questo campo. Il romanticismo della prima metà del secolo scorso ha aperto i nostri occhi all'arte ed alla spiritualità medioevali. Il neotomismo ha fatto rivivere la filosofia del primo Medioevo e le scienze naturali medioevali, particolarmente quelle del fertilissimo XIV secolo, sono state fatte conoscere all'inizio del XX secolo da P. Duhems e, ai giorni nostri, dalle accuratissime ricerche di Anneliese Maier.[1] A Lefebvre des Noëttes spetta soprattutto il merito di aver portato l'attenzione, negli anni fra il '20 e il '30, sulle grandi scoperte tecniche del Medioevo, anche se non tutte le sue ricerche sono state universalmente accettate. Una serie di scoperte, e non ultimo anche l'insegnamento cristiano secondo il quale gli uomini sono stati creati liberi dalla natura e sono tutti uguali davanti a Dio, consentirono al Medioevo cristiano di costruire una civiltà che non poggiava piú come l'antica sulle spalle degli schiavi, ma che si serviva sempre piú di energie non derivanti dalla persona umana.

Anche per un altro riguardo la Chiesa cristiana medioevale svolse una parte fondamentale per lo sviluppo della tecnica. Quando all'inizio del XIII secolo si conobbe tutto Aristotele, ed in particolare la gigantesca costruzione aristotelica della scienza della natura (in piccola parte per tradizione diretta, in massima parte invece attraverso gli arabi) fu grande compito di Alberto Magno e del suo discepolo Tommaso d'Aquino di armonizzare la sapienza aristotelica con l'universo cristiano, cosí da pervenire ad una concezione universale unitaria, che comprendesse anche il mondo delle cose e che avesse Dio al suo vertice supremo. La fede e la scienza sono infatti campi distinti; ma fra la verità rivelata e quella scientifica non è possibile, secondo questa dottrina, alcuna contraddizione, altrimenti da essa deriverebbe contraddizione in Dio stesso. Questo aristotelismo cristiano, questa tendenza a mettere d'accordo scienza e filosofia, e l'armonica unificazione di queste con la teologia, dovevano preparare il terreno, già nell'ambito della Scolastica, ad un ulteriore sviluppo delle scienze naturali, anche se ciò non era nelle intenzioni dell'alto clero del XIII secolo. E già la tarda Scolastica del XIV secolo si inoltrò sul terreno della fisica aristotelica, particolarmente a causa della forte tendenza propria del Nominalismo di dedicarsi piú intensamente alle cose reali, per giungere ad una critica delle dottrine aristoteliche della prima Scolastica che si basasse sul-

l'esperienza, e per giungere insieme a concezioni originali ai fini di una nuova scienza aristotelica della natura; in questa poi, come ha efficacemente dimostrato Anneliese Maier,[1] erano contenuti almeno in germe i principi di quella nuova fisica che nacque piú tardi nei secoli XVI e XVII mostrandosi di capitale importanza per lo sviluppo della tecnica nei secoli successivi. L'inserimento del pensiero aristotelico nella Scolastica del XIII secolo ad opera di Alberto Magno e Tommaso d'Aquino risulta cosí della massima importanza per lo sviluppo della tecnica moderna. Che gli sviluppi tecnologici possano anche seguire tutto un altro corso, è chiaramente dimostrato dall'Islam. Il grande teologo al-Ghazālī (morto nel 1111) respingeva sia la filosofia che la scienza, in quanto a suo avviso esse conducevano all'origine del mondo e al Creatore attraverso una rinuncia alla fede. Egli in particolare non poteva conciliare la fede nell'onnipotenza di Dio con la concezione greca di un mondo accessibile all'intelligenza umana. La scienza mussulmana incominciò a spegnersi pressapoco dopo il 1100, perché non aveva saputo trovare il giusto legame fra la religione da un lato e la filosofia e la scienza in rapido sviluppo dall'altro.

Il primo cristianesimo e la tecnica

Abbiamo già sottolineato come sia stato essenziale per lo sviluppo della tecnica e della scienza della natura in Occidente il fatto che il Cristianesimo non abbia negato la natura, ma ne abbia riconfermato la validità, sia pure su un piano inferiore. Già negli scritti dei primi Padri della Chiesa appare chiara questa posizione, anche se poi essa fu sempre minacciata dagli influssi orientali che predicavano la pura spiritualità.

Gregorio Nisseno parlava, nel IV secolo dell'era volgare, dei legami fra natura sensibile e natura spirituale, voluti da Dio affinché nulla di quanto è creato fosse da disprezzare. E l'uomo veniva rappresentato come re di quella natura che gli deve essere di ausilio nella sua ascesa a Dio. Cosí la natura viene ad essere esaltata per mezzo dell'uomo, in unione all'uomo.

Grande catechesi. Il pensiero distingue due mondi nella realtà, che la speculazione divide in intelligibile e sensibile; oltre a questi niente altro si deve ritrovare nelle cose, che non sia compreso in questa divisione. Questi due mondi sono tuttavia separati da una grande differenza, per modo che la natura sensibile non ha caratteri intelligibili, né quella intelligibile caratteri sensibili, ma ciascuna può venir riconosciuta come opposta all'altra. Imperocché la natura intelligibile è qualcosa di immateriale, non percettibile e senza forma; quella sensibile invece, come dice già il nome, ricade entro la percezione dei sensi. Cosí come nello stesso mondo sensibile, malgrado i molteplici contrasti fra i diversi elementi, la saggezza che regola l'universo ha potuto ricavare da tanti opposti un accordo (per cui l'intera creazione sta in armonia con sé stessa, senza alcuna dissonanza naturale che rompa la continuità dell'accordo), allo stesso modo attraverso la sapienza divina ha luogo la composizione e la fusione del sensibile e dell'intelligibile, cosí che tutto abbia ugual parte nella bellezza universale e nessuna cosa della na-

tura resti esclusa dal bene. Cosí, benché la sfera propria della natura spirituale sia l'essenza sottile e mobile che, occupando le regioni sovraterrene, mostra per le proprietà della sua natura una stretta relazione con il mondo intelligibile, grazie ad una sublime provvidenza ha luogo tuttavia un certo legame fra la natura intelligibile e quella sensibile, acciocché nessuna cosa della natura sia da disprezzare, come dice l'Apostolo, o resti esclusa dalla partecipazione in Dio. A questo fine fu l'uomo creato dalla divina natura mescolando l'intelligibile con il sensibile, come c'insegna la storia della creazione. Poiché sta scritto che Dio prese della polvere dalla terra e formò l'uomo, e con il suo alito pose in quel simulacro lo spirito della vita, affinché la natura terrena venisse sublimata dalla divinità ed un'unica grazia potesse ugualmente permeare l'intera creazione con l'unione della natura soprannaturale a quella inferiore. E quindi, poiché il mondo intelligibile preesisteva all'altro ed a ciascuna delle angeliche potestà era stata attribuita dalla Maestà che su tutto domina una certa attività per l'organizzazione dell'universo, una di queste potestà era stata incaricata dalla forza che ordina tutto l'universo, di mantenere e governare la sfera terrestre; e come fu pronto il simulacro terreno a somiglianza della potenza suprema (questo essere vivente essendo l'uomo), e fu in lui infusa insieme a una inesprimibile facoltà la divina bellezza della natura intelligibile, colui al quale era stato attribuito il dominio sulla terra tenne per ignominioso ed intollerabile che dalla natura a lui sottoposta fosse prodotto un essere fatto ad immagine della suprema altezza. [29]

La dote dell'uomo. E dunque, dopo che il Creatore dell'universo ebbe preparato una dimora reale per il futuro re — e cioè le terre, le isole, il mare e la vôlta del cielo che come un tetto ricopre ogni cosa — e dopo che ogni sorta di ricchezza fu posta in questa sede regale — e con ricchezza intendo l'intera creazione, e gli alberi e le erbe, e tutto quanto ha vita, sensibilità ed anima, e si devono contare fra le ricchezze anche tutte le specie di materia, quelle che per un loro certo splendore appaiono preziose agli occhi dell'uomo, come l'oro e l'argento, come pure le pietre, quelle che piacciono all'uomo — e dopo che Egli di tutto ciò ebbe riposta grande abbondanza nel grembo della terra come in uno scrigno regale, fece Egli allora apparire sulla terra l'uomo che delle meraviglie di essa fosse testimonio e signore, affinché attraverso il godimento delle ricchezze ambisse a conoscere il donatore, ed insieme potesse presentire da tanta bellezza e grandezza la potenza indescrivibile del Creatore. Per questo l'uomo

fu fatto entrare nel mondo dopo che era terminata la creazione, a conclusione di essa, non perché disprezzato fra le ultime cose, ma per onorarlo, perché già al suo apparire egli fosse il re dei suoi sudditi. [30]

Ora, i compiti essenziali furono suddivisi fra i diversi esseri a noi sottoposti, allo scopo di rendere necessaria la nostra signoria su di essi. La lentezza e la pesantezza del nostro corpo richiedevano i servizi del cavallo, e questo fu addomesticato; la nudità della nostra carne rese necessario l'allevar pecore che con l'annuale tributo di lana rimediano a questo difetto della nostra natura; il trasporto dei viveri anche da lontane regioni portò all'assoggettamento degli animali capaci di portar some; e il non poterci noi nutrire d'erbe, come gli animali che pascolano, rese utile alla vita il bove, che con il suo lavoro ci aiuta a procurarci il necessario sostentamento. E poiché ci servono anche denti e zanne, per poter avere con i morsi il sopravvento nella lotta con alcuni animali, cosí il cane presta al nostro bisogno, oltre alla sua velocità, anche le sue fauci, sí che rappresenta per l'uomo un'arma vivente. Piú forte delle corna e piú acuto degli artigli è poi per l'uomo il ferro, che non fa parte del nostro corpo come quelli fanno parte del corpo degli animali, ma che può esser deposto dopo che ci è servito durante la lotta. E in luogo della corazza del coccodrillo, può ben l'uomo adoperare una simile armatura, quando si ricopre il petto di cuoio; od altrimenti anche per questo scopo può venir con arte adoperato il ferro che, dopo essere stato utilizzato per la guerra, può di nuovo in tempo di pace lasciar liberi dal suo peso gli armati. E utili alla vita sono anche le ali degli uccelli, cosí che ingegnosamente possiamo ottenere anche la velocità del volo: poiché taluni di essi vengono addomesticati e son d'ausilio ai cacciatori, altri vengono costretti alle nostre necessità, e addirittura abbiamo l'arte ingegnosa di munire di penne le frecce, cosí da ottenere con l'arco la velocità del volo che ci abbisogna. [31]

Ben diverse da queste parole, che son tutte un'affermazione di vita, suonano quelle del mistico taoista nel *Kwan-Yinn-Tzu* dell'VIII secolo d.C. che qui riportiamo, ricollegandoci a Chr. Dawson, come esempio dell'atteggiamento di distacco dalla vita e dall'attività terrena proprio dell'Estremo Oriente. In un ambiente ispirato a una simile spiritualità mistica, la tecnica e la scienza non ricevono certo impulsi dalla religione.

Al di fuori del Principio, del Tao, è il nulla. Tutto quanto esiste forma parte dell'unità del Tao. In quest'unità assoluta, che tutto com-

prende, non esiste alcuna successione, né tempo, né spazio. Nel Tao non esiste differenza alcuna fra un giorno e cento anni, fra un tiro di sasso e cento miglia... Non dobbiamo quindi parlare di leggi della natura e di presunte violazioni di queste leggi, come cambiamenti di forma o di genere, eliminazione della gravità, fuoco che non brucia o acqua in cui non si affoga, mostri o meraviglie di natura. Non esiste niente di simile alle profezie, perché non esiste il tempo e non il futuro. Non esiste niente di simile all'eliminazione del peso, perché non esiste lo spazio. Il Tao è unità, tutta contenuta in un solo punto, e non ha quindi né passato né futuro. Io sono uno con tutti gli esseri, e tutti gli esseri sono un tutto unico con il Tao. Ogni fenomeno procede dal gioco del Tao e non da legge alcuna. Se un cadavere si alza e cammina, se un uomo pesca dei pesci in una scodella oppure entra ed esce attraverso una porta dipinta sul muro, ciò non è niente di straordinario, perché nessuna regola esiste... Distinguere fra causa ed effetto, fra fatto e fattore, è illusione ed apparenza. Il volgo è prigioniero dell'illusione che un tamburo produca un suono quando un uomo lo percuote con una mazza. In realtà non esiste né il tamburo né la mazza né il suonatore. O meglio tamburo-mazza-suonatore sono il Tao che ha prodotto in se stesso il fenomeno del colpo di tamburo. Le parole non significano niente, poiché le cose cui si riferiscono non esistono.

Ciò che si vede stando svegli non è piú reale di quanto si vede in sogno. E l'uomo che vede non è piú reale di ciò che egli vede. L'uomo che sogna non è piú reale di ciò che egli sogna.

Poiché sa che nessuno esiste, il saggio è ugualmente benigno verso tutti ed egualmente indifferente. [32]

Anche Sant'Agostino (354-430 d.C.), il cui pensiero era rivolto quasi interamente a Dio e all'anima, intonò una lode al Creato, nella quale si ritrovano unite la natura materiale e quella spirituale. E nella sua lode sono comprese pure le arti tecniche, che sono ai suoi occhi testimonianza delle superiori qualità dell'anima.

Lode del Creato. Ora parlerò dei beni, che Iddio ha donato, o fino ad ora dona, anche alla natura colpevole o dannata: però che condannando non tolse tutto quello che aveva dato (ché, la natura sarebbe cosí ridotta quasi ormai a nulla), e neppure la rimosse dalla sua potestà, anche quando per pena la sottomise al diavolo, cosí come non tolse il diavolo dal suo imperio; in quanto anche la natura di esso diavolo sussiste per opera di Colui che sommamente è, e dà esistenza a

tutto ciò che in alcun modo è...

Però che Egli con l'opera sua, che insino ad ora svolge, fa che spieghino i semi le loro virtú e da alcune invisibili inclusioni si sviluppino fino alle visibili forme di questa bellezza che sta davanti ai nostri occhi. Egli fa animata questa natura congiungendo e collegando in maravigliosi modi natura corporea e natura incorporea, quella in posizione di dominio e questa di soggezione. E questa sua opera è tanto grande e mirabile che non solamente considerando l'uomo, che è animale razionale, e per questo piú eccellente e piú nobile di tutti gli animali terreni, ma anche la piú piccola mosca, si genera stupore in chi ciò bene considera, e lo induce a lodare il Creatore...

Però che oltre alle arti di vivere bene e di pervenire alla felicità terrena, le quali arti si chiamano virtú e vengono concesse ai figliuoli della promessa e del regno per la sola grazia di Dio che è in Cristo: non trova forse e non esercita l'ingegno umano anche tante e tali arti, parte ancelle della necessità, parte del piacere, da testimoniare la tanto eccellente virtú della mente e della ragione anche con il tendere a tante cose eccessive o addirittura pericolose e mortali? Non mostra forse l'uomo quanto bene abbia nella sua natura, nell'aver potuto trovare, far sue ed esercitare queste arti? A quali opere è pervenuta l'industria umana dei vestimenti e degli edifici e quanto mirabili, quanto stupende! quanto ha proceduto nell'agricoltura e nella navigazione! quante opere ha ideato e compiuto nella fabbricazione di ogni sorta di vasi, statue, e pitture! quanto è riuscita a fare nei teatri di meraviglioso per quelli che guardano, di incredibile per quelli che odono! quali e quante cose ha trovate per catturare, uccidere e domare le bestie, e contro gli uomini stessi quanti generi di veleni, d'armi, di macchine belliche, quanti medicamenti ed adiutorî ha escogitato per difendere e riparare la salute del corpo! quanti condimenti e delizie ha prodotto pure per il diletto della gola! quale moltitudine e varietà di segni, principalmente la lingua e la scrittura, ha studiato per esprimere e tramandare il pensiero! quali ornamenti di eloquenza e di poesia per dilettare gli animi, quanta dovizia di strumenti, quanti suoni e canti per far piacere agli orecchi! quale vasta conoscenza delle misure e dei numeri ha raggiunto e con quanta acutezza ha compreso i movimenti e la posizione delle stelle! quanto vaste nozioni ha saputo radunare sulle cose del mondo! Chi potrebbe mai giungere alla fine di tale enumerazione, specialmente se non s'accontentasse di comprendere tutto insieme, ma volesse considerarne ciascuna cosa di per sé?...

Quanta sublime bontà di Dio, quanta sublime provvidenza di tanto

Creatore appare poi nel nostro stesso corpo?... Però che l'uomo non è stato fatto cosí come vediamo gli animali irrazionali, inclinati col capo verso terra: ma la forma del corpo, drizzata verso il cielo, lo induce a tendere alle cose che stanno in alto. La maravigliosa mobilità che fu attribuita alla lingua ed alle mani, atta e conveniente al parlare ed allo scrivere, cosí come al compiere le opere di moltissime arti ed uffici, non mostra forse chiaramente come debba essere eccellente l'anima al cui servizio fu posto un cosí eccellente corpo? [33]

È stato già detto sopra come il Medioevo sia lentamente giunto al superamento della schiavitú. Questo processo, che è strettamente collegato al progresso tecnico, si compí solo gradualmente. Non va trascurata a questo proposito l'influenza di ordine morale esercitata dalla Chiesa. San Paolo scriveva nella lettera ai Galati (III, 28): "Non c'è né ebreo né greco, non c'è né schiavo né uomo libero, non c'è né uomo né donna, ma siete tutti insieme uno solo in Cristo Gesú." Il diminuire dell'offerta di schiavi dopo il tramonto dell'egemonia romana produsse una rivalutazione del lavoro manuale libero. Dalla fine del IV secolo si ebbe il passaggio dalla schiavitú alla servitú della gleba. Sant'Agostino vedeva la causa della schiavitú nel peccato. La schiavitú, nella sua concezione, era uno stato che, qualora il padrone si rifiutasse di concedere l'affrancamento, andava sopportato come immutabile.

Quelli che assumono la cura di altri, a quelli comandano: cosí il marito alla moglie, il padre ai figli, il padrone agli schiavi. Ed ubbidiscono quelli di cui altri hanno cura: come le mogli ai mariti, i figli ai padre, gli schiavi ai padroni. Ma nella casa del giusto che vive nella fede e che non è che un pellegrino ancora separato dalla città celeste, anche coloro che comandano servono a quelli cui possono comandare. Poiché non comandano per desiderio di potere, ma per il loro ufficio di aver cura di quelli, e non per superbia di dominazione, ma per misericordia nel provvedere...

Dio volle che l'uomo razionale fatto ad immagine sua signoreggiasse sopra gli esseri privi di ragione: non l'uomo sopra l'uomo, ma l'uomo sopra le bestie. Per questo i primi giusti furono piuttosto fatti pastori di greggi che non re di uomini, acciocché anche cosí dimostrasse Iddio che cosa esige l'ordine delle creature, e che cosa [piú tardi] ha meritato il peccato. Poiché la condizione di schiavo giustamente fu imposta al peccatore. In nessun luogo della Scrittura leggiamo di servi fino a quando Noè giusto non puní con questa parola il peccato del figliuolo suo (*Gen.* 9, 25). Sicché questo nome venne dalla colpa, non

dalla natura. E l'origine del vocabolo "schiavo" (*servus*) si crede derivata nella lingua latina dal fatto che quelli che secondo il diritto di guerra potevano essere uccisi, quando i vincitori li solevano risparmiare [*servare*] diventavano schiavi [*servi*]. Ma anche ciò non succede senza colpa. Però che quando si fa giusta guerra, si combatte l'avversario per il suo peccato: ed ogni vittoria, anche se tocca al malvagio, per divino giudizio umilia i vinti, e ne emenda o punisce i peccati... Adunque la prima cagione della servitú è il peccato... E per conseguenza anche molti timorosi di Dio servono a signori iniqui, ma (malgrado la loro signoria) sono liberi...

Nello stato naturale, in cui Dio creò dapprima l'uomo, nessuno era servo di un uomo, o del peccato. Ma anche la servitú imposta come pena, è soggetta a quella legge che comanda di osservare l'ordine naturale e vieta di turbarlo. Ché se non si fosse mancato a quella legge, non si sarebbe costretti neppure per pena alla servitú. E quindi l'apostolo ammonisce anche gli schiavi, che siano soggetti ai loro signori, e che li servano con animo leggero e con buona volontà (*Ephes.* 6, 5). E se non possono ottenere di essere liberati dai loro padroni, trasformino essi stessi in libertà la loro schiavitú, servendo non con fraudolento timore, ma con fedele affezione, fino a quando non scompaia ogni iniquità e ogni principato e potestà umana, e sia Iddio ogni cosa in tutte le cose. [34]

In seguito le emancipazioni di schiavi da parte di istituzioni religiose o per effetto dell'azione della Chiesa si fanno sempre piú numerose. Riportiamo un documento del IX secolo.

Io, Heimrich, per timore di Dio e per la salvezza dell'anima mia, ho liberato la mia schiava Reginheid con i suoi figli Waldgelt e Folcheid. Ugualmente ho liberato un'altra schiava Zeizbirc, che il libero Albrich mi aveva affidato per l'emancipazione. Essi devono essere liberi, come se fossero partoriti e nati da genitori liberi. Essi non devono essere costretti contro la loro volontà a servire ad alcuno dei nostri eredi o degli eredi dei nostri eredi, ma soltanto a Dio, al quale tutto è soggetto. Le proprietà che essi hanno, o che in futuro riusciranno ad avere, dovranno possederle e goderle da sé. Essi dovranno vivere e lavorare per sé soltanto, e possedere ciò che con il lavoro guadagneranno. Questo sia loro concesso ed assicurato. Essi potranno trovare rifugio e riparo nel santo convento di Weissenburg, costruito sul Lauter in onore dei Santi Apostoli Pietro e Paolo e di molti altri Santi e retto ora dal

reverendo abate Grimald. Per questo dovranno pagare ogni anno a questo luogo di Santi, quale pia offerta del loro sopra nominato padrone, una tassa di due pfennig, o una quantità di cera del valore di due pfennig in onore di San Martino, il prete eletto e confessore. E cosí essi resteranno liberi come altre persone che devono pagare offerte e tributi, o come altri religiosi che sotto queste condizioni sono stati fatti liberi. Ma se si mostreranno tardi o negligenti nel pagare il tributo, io potrò punirli secondo la legge. Ed essi resteranno liberi, di generazione in generazione. Se però uno, ciò che crediamo non abbia a succedere, ecc... Validità della dichiarazione, ecc... Eseguito pubblicamente in Biblisheim il 16 luglio dell'anno 873 dall'incarnazione del Signore, durante la quindicesima Indizione, mentre regnava Ludovico nelle Gallie, nel ventesimo terzo anno del suo regno. Testimoni: Heinrich che ha richiesto questo documento [e undici uomini]. Io Hugbald ho scritto e firmato questo documento. [35]

I conventi e le arti tecniche

Le corti dei potenti ed i conventi costituirono, prima che si sviluppassero le città, i centri di una mirabile attività artigianale. Particolarmente al servizio della chiesa la tecnologia medioevale ha creato opere incomparabili. Teofilo, un benedettino tedesco dell'XI secolo, descrisse con molta vivezza, in una sua vasta opera, la dovizia di attività artistiche e artigianali che servivano ad arricchire i patrimoni di chiese e conventi. Il lavoro manuale, a partire dall'epoca di Benedetto da Norcia (San Benedetto) fino all'epoca dei primi francescani, costituiva una parte essenziale delle regole degli ordini monastici. Cosí si cominciò ad attribuire al lavoro manuale la nobiltà e il significato religioso che gli era stato negato dall'antichità classica. "Felice colui che si guadagna il pane con il lavoro delle proprie mani," sentenziava San Giovanni Crisostomo nella seconda metà del IV secolo d.C. (*In Genesim homilia,* L, 2). E Teofilo invita a lavorare in silenzio con le proprie mani per la gloria di Dio e per il bene di coloro che soffrono.

Teofilo, l'umile prete, servo di Dio, indegno del nome e della professione di monaco, invoca la benedizione celeste su tutti coloro che cercano di risvegliare e trasformare l'inattività dello spirito e l'astratto vagabondaggio dell'anima con utili occupazioni manuali e con la lieta ricerca di cose nuove.

Leggiamo nel libro della Genesi che l'uomo fu fatto ad immagine e somiglianza di Dio, fu animato dal soffio divino e con il segno di questa dignità fu innalzato al di sopra degli altri viventi affinché egli, essere razionale, si rendesse degno di partecipare alla sapienza, alla saggezza ed allo spirito divino e, dotato di libero arbitrio, osservasse la volontà del suo Creatore e mostrasse rispetto della sua autorità. Miseramente ingannato dall'astuzia di Satana, dovette pagare la sua disobbedienza con la perdita dell'immortalità, ma tramandò alle generazioni dei suoi

posteri i preziosi beni della sapienza e della ragione, sicché chiunque vi si applichi con cura e coscienzioso sforzo può per diritto ereditario ottenere grande perizia in qualsiasi arte o mestiere.

L'umanità nella sua ingegnosità accettò questa predestinazione e, dopo essersi dedicata ai guadagni materiali ed ai piaceri attraverso vari casi, giunse finalmente nel corso dei tempi all'epoca predestinata della religione cristiana. E si realizzò quanto la Provvidenza divina aveva ordinato, a gloria e lode del suo nome, che cioè essa si convertí in un popolo timorato di Dio ed a lui obbediente. [Ma tuttavia] la pia umiltà dei credenti non trascura [affatto] tutto quanto l'ingegnosa attività dei nostri antenati ha tramandato infino alla nostra epoca; e ciò che Dio diede agli uomini in retaggio possa l'uomo far oggetto dei suoi desideri e sforzarsi di ottenere. Nessuno deve però farsi vanto, quando abbia ciò ottenuto, come l'avesse di per sé prodotto e non [assai piú] da altra parte ricevuto; ma umilmente si lodi egli nel Signore, dal quale e mediante il quale tutto deriva, e senza il quale nulla esiste. E neppure deve egli nascondere nel sacco dell'invidia quanto gli è stato concesso, o chiuderlo nello scrigno di un cuore avido, ma rinunciando [naturalmente] ad ogni vanteria, con lieto animo e senza condizioni deve darlo a tutti quanti ne chiedano e temere la sentenza del Vangelo su quell'amministratore che inutilmente finse di restituire con gli interessi la somma che il padrone gli aveva dato e, avendo perso ogni beneficio, venne sentenziato dalla bocca di quegli come servo inutile.

Per timore di incorrere in un tale giudizio, io indegno e quasi ignoto figlio di uomo, offro senza esigere ricompensa, a tutti quelli che umilmente desiderano imparare, tutto quanto la generosa grazia divina, che a tutti dona in abbondanza, pure senza esigere ricompensa mi ha dato; e li invito a vedere in me la bontà di Dio e ad ammirare la sua generosità, e voglio convincerli che, quando anch'essi avranno compiuto alcuna opera, dovranno credere senza dubbio [alcuno] che in ciò Egli è stato loro d'ausilio.

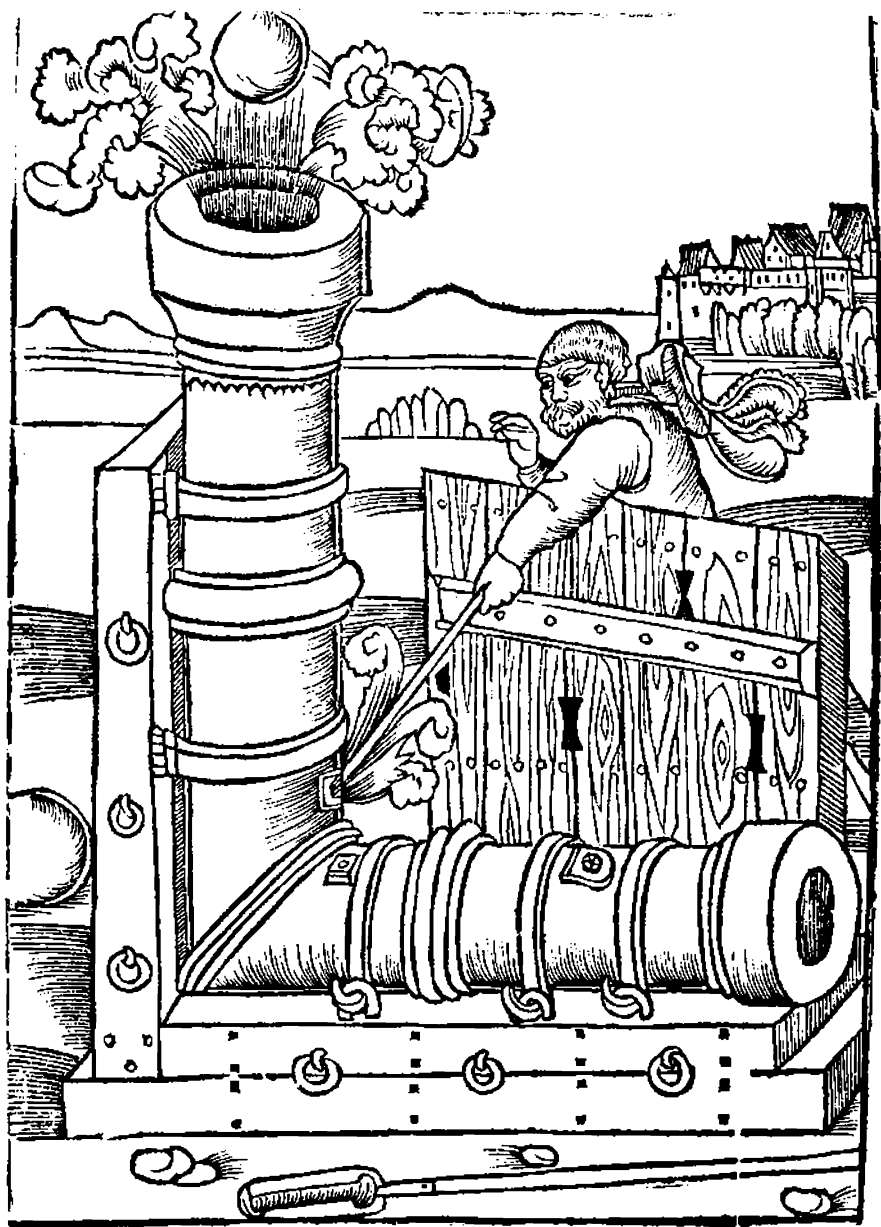
... E però, caro figlio, poiché Dio ti ha dato la gioia che ti venga offerto gratuitamente ciò che molti possono ottenere soltanto con insostenibile fatica, attraversando con grande periglio i flutti del mare, tormentati dalla fame e dal freddo o fiaccati dalla quotidiana fatica degli studi, ma non distolti dalla loro brama di imparare, ricerca con occhi desiderosi questo compendio di varie arti, leggilo con accorta riflessione e ricevilo in te con caldo amore.

Se tu lo esaminerai con giusta cura, troverai in esso quanto possiede la Grecia di tipi e mescolanze di colori; quanti artistici lavori di

smaltatura sappia compiere la Russia; quanti vari ornamenti sappia fare l'Arabia con la fucinatura, la fusione e il traforo; quanti diversi vasi e sculture e lavori in corno dorato sappia eseguire l'Italia; quali tesori di diverse vetrate possieda la Francia; quali stupende opere in oro, argento, rame, ferro, legno e pietra ornino l'abile Germania. E se tu lo avrai spesso letto e gli avrai dedicato un'accorta riflessione, avrai altrettante volte usato con vantaggio questo mio lavoro, per la misericordia di Dio onnipotente. Egli sa che ciò che qui è contenuto, io non l'ho scritto per avidità o per aver lode dagli uomini, né per desiderio di ricompense mondane, e che niente di prezioso o raro ho nascosto o taciuto, per tenermelo per me, per gelosia o per avidità, ma che sono venuto in aiuto di molti, pensando al loro vantaggio, per accrescere l'onore e la gloria del suo nome. [36]

... Il senso di sincero amore non è valso a sviarmi dal cercare di persuaderti di quanto sia importante, per la propria dignità e perfezione, rinunciare all'ozio e lo spronare l'inerzia e la pigrizia, e quanto sia dolce e grato dedicarsi con fatica alla diverse utili occupazioni, secondo la massima di colui che disse: "Saper qualcosa è un merito, ma è una colpa non volere imparare nulla."

E a nessuno sarebbe discaro che a lui s'applicasse il detto di Salomone: "Chi accresce le proprie conoscenze, accresce il proprio lavoro." E quanti vantaggi per il corpo e per l'anima ne derivino, sarà evidente a chi su ciò rifletterà con accortezza. Poiché è piú chiaro della luce che chi vivrà nell'ozio e nella vanità di pensiero, si darà anche alle inutili chiacchiere ed agli scherzi malvagi, alla curiosità, ai banchetti, al bere smodato, alle liti, alle risse, all'assassinio, alle orge, al furto, allo scandalo, allo spergiuro ed alle altre cose che gridano vendetta al cospetto di Dio; mentre questi riguarderà benevolo ai piú umili e pacifici, che silenziosamente lavorano nel nome del Signore e ubbidiscono al precetto dell'apostolo Paolo: "Molto dovrà egli fare di quanto è bene, lavorando con le sue mani, affinché egli abbia di che dare il necessario a quelli che soffrono." [37]

... Con lo spirito della saggezza tu puoi riconoscere come tutto quanto è creato provenga da Dio, e niente esista senza di Lui; con lo spirito della ragione potrai trovare in quale campo, secondo quali precetti, in quali modi e misure potrai svolgere il tuo vario operare; con lo spirito dell'ingegno non nasconderai nulla del talento che Dio ti avrà dato, ma ne farai mostra in umiltà, senza nulla celarne, nel lavoro e nell'onesto insegnamento a coloro che hanno desiderio di imparare; con lo spirito del coraggio rimuoverai tutti gli impedimenti e l'inerzia,

e ciò che con impeto avrai incominciato, condurrai con tutta la tua forza a compimento; con lo spirito della scienza a te concesso dominerai con ricchezza di cuore mediante il tuo genio e quando ne avrai grande abbondanza ne userai generosamente con tutta l'arditezza del tuo pensiero; con lo spirito della pietà deciderai la ricompensa per il tuo lavoro dopo accurato pensiero su quanto, per chi, quando e che specie di lavoro hai compiuto, senza incorrere nel vizio di avidità o cupidigia; con lo spirito del timor di Dio sarai cosciente che tu nulla di per te stesso puoi, ti convincerai che tu nulla possiedi o puoi desiderare, che non sia Dio a concederti, ma piuttosto con fede, gratitudine e riconoscenza attribuirai alla misericordia divina ciò che tu sai, ciò che sei o che puoi diventare...

Orsú dunque, alacre uomo, felice davanti a Dio ed agli uomini in questa vita ed ancor piú nella futura, mediante il cui lavoro e la cui diligenza tanti sacrifici vengono offerti a Dio, procedi ora con ancor maggiore perizia d'arte e costruisci con tutto l'impeto della tua anima quanti attrezzi ancora mancano alla casa del Signore, completandoli in modo che possano compiersi i misteri divini ed esser celebrati i servizi! Questi attrezzi sono i calici, i candelabri, i turiboli, le ampolle e i vasi per la messa, gli armadi per i sacri voti, le croci, i plenari e quante altre cose sono utili o necessarie per il sacrificio divino. Se tu vorrai costruirne, comincia secondo le seguenti prescrizioni. [38]

Tempera delle lime. — Brucia nel fuoco del corno di bue, grattalo, aggiungi un terzo di sale e macina accuratamente (il preparato). Poni quindi la lima nel fuoco e quando è rovente, spargile sopra la polvere preparata. Quando il carbone su di essa brucia, attizza rapidamente [il fuoco], ma in modo che la polvere di tempera non cada giú. Tagliala quindi rapidamente [la lima], immergila subito in acqua, tirala fuori e asciugala leggermente sul fuoco. In questo modo si temperano tutte [le lime] che sono fatte di acciaio. [39]

Ancora un'altra tempera si può eseguire sugli utensili con i quali si tagliano il vetro e le pietre tenere, e precisamente con il seguente procedimento. Prendi un caprone di tre anni e tienilo legato per tre giorni al chiuso senza alimentarlo, al quarto giorno dàgli da mangiare felci e nient'altro. Quando ne avrà mangiato per due giorni, mettilo la notte seguente in una botte con il fondo forato. Sotto questi fori metti un altro recipiente non forato, nel quale tu possa raccogliere la sua orina. Quando in tal modo per due o tre notti ne avrai raccolta una quantità sufficiente, tira fuori il caprone e tempra i tuoi utensili nella orina suddetta. Gli utensili [sopra descritti] si possono temprare anche

nell'orina di un bambino rosso di capelli, e diventano piú duri che temprandoli nell'acqua pura. [40]

Fusione di campane (tav. V). — Se vuoi costruire una campana, tagliati anzitutto un bastone quadrato di legno di quercia secco, lungo secondo la grandezza della campana, in modo che da entrambe le parti sporga di una spanna dalla forma, grosso ad una estremità e sottile e arrotondato dall'altra in modo da poterlo far girare entro un foro. La sua grossezza deve diminuire gradatamente, in modo che si possa estrarlo facilmente quando il lavoro sia finito. Si dovrà poi fare un intaglio al bastone, dalla parte grossa, a circa una spanna dall'estremità, in modo da ricavarne una scanalatura larga due dita. Il bastone dovrà essere arrotondato in quella zona, ma piatto nella scanalatura, in modo da potervi applicare una manovella di legno, con la quale poterlo far girare come una mola per affilare. Si preparino pure due assi di uguale larghezza e lunghezza; esse devono venir collegate fra loro e irrigidite mediante quattro travicelli, in modo che la distanza fra di esse corrisponda alla lunghezza del bastone sopracitato. E in una delle due assi si faccia un buco, nel quale possa far perno l'estremità arrotondata, e in quella opposta invece un incavo profondo circa due dita, nel quale possa girare la scanalatura circolare.

Prendi quindi il bastone di legno e mettigli attorno dell'argilla accuratamente impastata, per uno spessore dapprima di due dita. Dopo che questa si è accuratamente seccata, ponivi sopra un secondo strato e procedi cosí fino a quando il nucleo non sia stato riempito nella grossezza che desideri; nel fare questo sii cauto, che non venga mai posto uno strato di argilla sopra l'altro, prima che questo si sia ben seccato. Poni quindi il detto nucleo fra le due assi già descritte e mentre il garzone lí seduto lo fa girare, torniscilo per bene a tuo piacimento con delle punte appositamente fatte per questo lavoro e liscialo mediante uno straccio imbevuto d'acqua.

Prendi quindi il sego, taglialo in fette sottili entro un recipiente e impastalo con le mani. Inchioda poi su una tavola piana due listelli uguali di un certo spessore, poni il sego in mezzo ad essi e, come detto sopra per la cera, rullalo con un cilindro di legno cosí da ottenerne uno strato piano e sottile, dopo aver sparso sopra dell'acqua perché non si attacchi. Toglilo quindi subito con un colpo, ponilo sul nucleo e stendilo attorno ad esso sciogliendolo con un ferro caldo. Prepara un altro foglio sottile di sego e ponilo vicino al precedente e procedi in tal guisa fino a quando tu non abbia ricoperto tutto il nucleo. Puoi cosí far la parete della campana spessa quanto vuoi. Se il sego si è completamente

raffreddato, torniscilo con le punte apposite. Se vuoi fare degli ornamenti particolari con fiori o iscrizioni sul fianco della campana, devi inciderli sul sego; cosí pure farai quattro fori triangolari vicino all'arco di mezzo, perché riescano meglio i suoni alti. Poni quindi sul sego dell'argilla setacciata e accuratamente mescolata, sopra la quale, quando si sarà seccata, ne stenderai un altro strato. Quando anche questo si sia pure completamente seccato, volta la forma sul fianco, e battendo leggeri colpi, estrai il bastone. Raddrizza poi la forma, riempi il foro superiore con argilla tenera e ponivi dentro l'anello al quale dovrà essere appeso il batacchio, in modo che la sua estremità sporga all'esterno. Quando questa argilla si sarà seccata, falla attaccare con il nucleo circostante e ricoprila con sego, cosí che le estremità dell'anello pendano bene nell'interno. Forma quindi i fori di uscita dell'aria e quello per versare il metallo, e rivestili di legno. Se intanto il terzo strato di argilla si è seccato, ponigli attorno dei cerchioni di ferro a distanza tale che fra due cerchioni ci sia la grandezza di una spanna, e poni ancora su questi cerchioni due strati di argilla. Quando questi si sono seccati, rovescia la forma sul fianco e scava circolarmente nella massa del nucleo d'argilla una cavità, in modo che la parete del nucleo non resti piú grossa di un piede. Ché se il nucleo restasse pieno, per il gran peso non potrebbe la forma essere sollevata, e per il gran spessore non potrebbe venir cotta bene.

Scava quindi una fossa nel posto in cui vuoi far cuocere la forma sopra descritta, profonda quanto la forma stessa richiede. [41]

Il forte accento posto dal primo monachesimo sul lavoro manuale fu attenuato nelle epoche successive. Tommaso D'Aquino pose nel XIII secolo la domanda: "Devono i monaci dei vari ordini compiere lavori manuali?" E rispose in modo limitativo.

... Il lavoro manuale è indirizzato a quattro scopi: primo e principale, ad ottenere i mezzi per sostentarsi... secondo, a vincere l'ozio, che è colpevole di molti mali..., terzo, a imbrigliare i desideri, in quanto esso mortifica il corpo..., quarto infine, a fare delle opere di misericordia.

Se uno potesse mantenersi in vita senza mangiare, non sarebbe tenuto a lavorare con le mani. Lo stesso discorso vale per coloro i quali da altre fonti hanno quanto occorre per poter vivere in modo lecito.

In quanto però il lavoro manuale ha per scopo di vincere l'ozio o di mortificare il corpo, esso di per sé non cade sotto l'obbligo del comandamento, in quanto oltre al lavoro manuale esistono molti altri

modi di mortificare il corpo o di vincere l'ozio.

Da ultimo, in quanto il lavoro ha per scopo le opere di misericordia, esso non cade sotto l'obbligo di comandamento se non, alla peggio, nel caso in cui uno sia tenuto per un qualche dovere a compiere delle opere di misericordia e non abbia nessun altro mezzo per aiutare i poveri.

Se quindi la regola dell'ordine non contiene particolari norme sul lavoro manuale, i religiosi non sono altrimenti obbligati al lavoro manuale che i laici. [42]

Se negli ordini religiosi, e anche in quello dei Benedettini che tanta importanza annetteva ad un intenso lavoro fisico, si sviluppò in seguito piú la vita spirituale che non l'attività manuale, si deve tuttavia rilevare già nell'alto Medioevo la vasta attività industriale ed economica svolta a partire dal XII secolo dall'ordine dei Cistercensi, che si proponevano di portare nell'Oriente europeo la piú progredita tecnica dell'Occidente. Richiameremo piú sotto alcune singole realizzazioni di questo ordine nel campo tecnico.

L'attività scientifica dei conventi nel primo Medioevo compendiò in numerose opere enciclopediche la scienza tramandata dall'antichità classica e dalla patristica, assieme a conoscenze relative al mondo contemporaneo. In queste opere cosí venivano spesso trattate anche questioni tecniche; tanto piú che i conventi stessi erano al tempo stesso anche il centro di svariate attività manuali. Lo schema nel quale veniva svolto l'insegnamento scientifico nelle scuole dei conventi, accanto alle quali sorsero piú tardi scuole episcopali e scuole capitolari, si rifaceva a quello delle sette arti liberali del periodo tardo-romano, che comprendevano: grammatica, retorica, dialettica, e geometria, aritmetica, astronomia e musica. Si cercò in seguito di introdurre in questo schema anche un po' di storia naturale e di meccanica. Un acuto sistema speculativo di scienze ed arti fu sviluppato nella prima metà del XII secolo dal tedesco Ugo di S. Vittore, che nel 1133 assunse la direzione della scuola di San Vittore a Parigi.

Gli uomini sono destinati alla perfezione, ma non sono ancora perfetti e necessitano di uno sviluppo. La natura, che sta agli ordini dell'uomo, gli deve essere di aiuto in questo sviluppo. Essa è un mezzo, mentre Dio è lo scopo e la mèta di questo sviluppo. Le arti tecniche sono tuttavia una imitazione della natura. L'imitazione di tutto ciò che l'attività intellettiva dell'uomo scopre essere utile nella natura, gli serve in questa sua ascesa a Dio. In tal modo viene fissata la creazione tecnica dal punto di vista religioso.

L'intenzione e lo scopo di tutte le azioni e di tutti gli sforzi dell'uomo che siano da saggezza dettati, devono essere diretti a che sia

ripristinata la originale purezza della nostra natura oppure a che vengano addolciti i mali ai quali di necessità la nostra vita presente è sottoposta...

Quando noi ci proponiamo di restaurare la nostra natura, questa è un'azione divina; quando invece noi, preoccupati delle nostre manchevolezze, ci sforziamo di procurarci il necessario, questa è un'azione umana. Ogni azione è quindi o divina o umana. Quella possiamo non impropriamente chiamare *intelligentia*, per ciò che essa è materia propria degli esseri di specie superiore; questa invece *scientia*, per ciò che essa è materia propria degli esseri di specie inferiore e in qualche modo abbisogna di consiglio. Se pertanto la saggezza, secondo la prima affermazione, regola tutte le azioni razionali, ne consegue l'ulteriore affermazione che la saggezza contiene in sé le due cose, e cioè l'intelligenza e la scienza. L'intelligenza si divide a sua volta in due rami, in quanto si tratta della ricerca della verità e del giudizio dei costumi: in teorica, e cioè intelligenza speculativa, e pratica, e cioè intelligenza attiva. Questa seconda è pure detta etica, e cioè morale. La scienza poi, poiché comprende le opere degli uomini, viene detta a ragione meccanica, e cioè arte dell'imitazione...

Richiederebbe troppo tempo e sarebbe troppo faticoso indagare in tutte le singole particolarità quanto l'opera degli artisti sia un'imitazione della natura. Potremo dimostrare ciò con poche parole come esempio. Chi fonde una statua, ha avuto davanti agli occhi ciò facendo una persona reale. Chi costruisce una casa, ha avuto in ciò considerazione della forma di un monte... La cima dei monti non offre all'acqua alcun luogo di sosta; cosí anche la casa costruita fino a raggiungere una certa altezza, cosí che essa possa resistere con sicurezza all'urto della pioggia. Chi per primo trovò l'uso delle vesti aveva osservato che tutti gli esseri viventi possiedono un particolare mezzo di difesa, mediante il quale proteggono la loro natura. Di corteccia è avvolto l'albero; di penne è ricoperto l'uccello; di squame è rivestito il pesce; di lana è avvolta la pecora; di peli son coperte le bestie da tiro e le fiere: la conchiglia protegge il crostaceo; la zanna fa che l'elefante non tema gli assalti. E non è tuttavia senza giusta ragione che l'uomo viene al mondo senza difesa e senza vestimento, mentre i diversi animali portano con sé protezioni ed armi adatte alla loro natura. V'era infatti bisogno che la natura provvedesse per quelli che non sanno provvedere a sé stessi. All'uomo invece doveva per l'appunto esser concessa tanta maggior opportunità di fare da sé delle scoperte, cosí che egli potesse ritrovare con la propria attività razionale ciò che alle altre creature viene dato

dalla natura... In questa maniera sono state trovate tutte quelle arti meravigliose nelle quali tu vedi oggi dispiegarsi l'operosità degli uomini. Da quella fonte derivano la pittura, l'arte tessile, la scultura, l'arte della fusione e innumere altre arti, tali che non solo alla natura ma anche agli artisti dobbiam pagare un tributo di ammirazione...

Ci sono, come abbiamo già affermato, soltanto quattro scienze, che comprendono tutte le altre. Esse sono la teorica, che si prefigge la ricerca della verità; la pratica, che considera la disciplina dei costumi; la meccanica, che regola le attività della nostra vita; la logica, che dona la facoltà di parlar giustamente con acutezza di mente...

La teorica è costituita dalla teologia, dalla fisica e dalla matematica; la matematica dall'aritmetica, dalla musica e dalla geometria. La pratica comprende la scienza personale, quella domestica e quella pubblica. La mecccanica si suddivide in arte tessile, arte della forgiatura di armi, arte nautica, agricoltura, caccia, medicina e arte scenica. La logica si suddivide in filologia e oratoria; l'oratoria viene scissa in quella che cerca di persuadere con fondamenti di verità e in quella che vuole ingannare con falsi ragionamenti. L'oratoria che vuol persuadere si compone di dialettica e rettorica... La meccanica comprende sette arti: quella tessile, quella della forgiatura di armi, quella nautica, quella della agricoltura, quella della caccia, quella della medicina e quella scenica (tav. 3). Di queste, tre si riferiscono al corredo esteriore della natura, al fine che essa si difenda dalle offese; quattro si riferiscono al corredo interiore, al fine che essa con cure e nutrimenti cresca e fruttifichi. Per la qual cosa sussiste una certa somiglianza con il trivio ed il quadrivio, in quanto il trivio (grammatica, dialettica, rettorica) si occupa delle definizioni delle parole, che sono qualcosa di esteriore, mentre il quadrivio (aritmetica, geometria, astronomia, musica) si occupa invece di concetti, che vengono compresi interiormente...

Queste arti si dicono meccaniche, e cioè *adulterinae* [imitate], poiché riguardano l'attività manuale, che prende a prestito i suoi modi dalla natura: cosí si dicono quelle altre sette arti *liberales* sia perché esse esigono uno spirito libero, cioè non ostacolato da alcunché, ed erudito, in quanto esse arti accuratamente indagano gli opposti principi delle cose, sia perché ad esse in anticipo soltanto i liberi, e cioè i nobili di nascita, solevano applicarsi, mentre la gente comune ed i figli della gente di oscura origine si occupavano delle arti meccaniche, come quelle che postulavano perizia di lavoro manuale... La meccanica è la scienza nella quale si ritrovano i metodi per costruire le cose. L'arte tessile comprende tutti i modi del tessere, del cucire e del filare, sia

con la mano, con l'ago, con il fuso, con la lesina, con l'arcolaio, con il telaio, con la spola, con il ferro caldo, con il rocchetto e con qualsiasi altro attrezzo... La seconda arte meccanica è la forgiatura delle armi. La parola *arma* [armi] viene usata anche nel senso di *instrumenta* [attrezzi, apparecchi]... La forgiatura delle armi viene designata anche come arte degli apparecchi, non solo per il fatto che il suo svolgimento porta all'impiego di apparecchi, ma anche perché essa produce per cosí dire apparecchi da un dato materiale. Come materiale possono usarsi pietra, legno, metallo, sabbia, argilla. All'arte della forgiatura di armi si accompagnano anche due sottospecie: l'arte del costruttore e quella del fabbro. L'arte del costruttore si scinde in quella di chi lavora la pietra, che fa riferimento al lavoro dello scultore e del muratore, e in quella di chi lavora il legno, che fa riferimento al lavoro del mobiliere e del carpentiere e di altri operai di questa specie che con scalpelli e accette, con lime e asce, con seghe e trapani, con pialle, cazzuole e squadre levigano, scolpiscono, scalpellano, lisciano, incidono, giuntano, dipingono, lavorando materiali d'ogni sorta: argilla, mattoni, pietra, legno, corno, sabbia, calce, gesso ed altre di simile genere. Il lavoro del fabbro si scinde in quello di fucinatura, che dà una certa forma ad un materiale lavorandolo con il martello, ed in quello di fusione, che dà una certa forma ad un materiale con il fonderlo...

L'arte nautica comprende tutti i traffici di compra, vendita e scambio con merci nostrane e straniere. Essa fra le arti della sua specie a buon diritto sta come quella del discorso [*rhetorica*] fra le proprie, perché questa occupazione ha bisogno soprattutto di eloquenza... L'arte nautica esplora le remote parti del mondo, ricerca nuovi lidi, attraversa distese deserte e intrattiene con popolazioni barbariche e tribú di ignoto linguaggio traffici regolati dalle leggi della piú nobile umanità...

L'agricoltura si suddivide in quattro sottospecie: il coltivare i campi che secondo il parere della gente danno sufficienti proventi; il piantare erbe ed alberi, ad esempio nei vigneti e nei frutteti; il coltivar boschi e prati, come nei pascoli, nelle praterie, nelle brughiere, nelle lande; il crescer fiori, come nei giardini e nei roseti...

La caccia comprende la caccia di selvaggina, l'uccellare e la pesca. La caccia di selvaggina viene svolta in maniere diverse; con le reti, i lacci, i calappi, le fosse, gli archi, gli spiedi, le lance, le battute, i cani, i falconi e usando il fumo per stanare le fiere. L'uccellare si fa con i lacci, le trappole, le reti, l'arco, le panie, gli ami. La pesca si effettua con le reti a strascico, le nasse, le lenze, gli ami, le fiocine. A quest'arte appartiene anche la preparazione di tutti i cibi, leccornie e bevande.

Essa ha ricevuto il nome da una sua sottospecie, poiché nell'antichità ci si soleva cibare di piú con i doni della caccia, come ancor oggi in alcune regioni in cui il pane è cosa assai rara si adotta come cibo la carne e come bevanda il miele e l'acqua... Alla caccia appartengono dunque tutte le occupazioni dei fornai, macellai, pescatori, cuochi e osti...

L'arte medica consta di due parti, le prescrizioni e gli influssi. Le prescrizioni sono in numero di sei: aria, moto e riposo, separazione e complemento, cibo e bevande, sonno e veglia, moti dell'animo. Esse vengon dette prescrizioni perché con esse si agisce sulla salute e la si conserva... Ogni influsso dell'arte medica si esercita internamente o esternamente. Influssi interni sono quelli che vengon introdotti nel corpo per la bocca, il naso, le orecchie e l'ano... Influssi esterni sono per esempio le legature, le bende, gli empiastri. La chirurgia è duplice: della carne, tagliare, cucire, bruciare; delle ossa, aggiustare e fasciare...

L'arte scenica [*theatrica*] riceve il suo nome dal teatro, dove il popolo soleva radunarsi, per godersi gli spettacoli, non tanto perché solo nel teatro si abbiano spettacoli, ma perché in esso assai piú spettacoli si danno che negli altri luoghi...

La logica come scienza della ragione, che vien detta pure scienza del distinguere e del giudicare, comprende la dialettica e la rettorica. La logica come scienza della parola appartiene secondo il genere alla grammatica, alla dialettica e alla rettorica; essa comprende in sé la scienza del parlar bene. E questa logica come scienza della parola è quella che noi contiamo per quarta dopo la teorica, la pratica e la meccanica. [43]

La tecnica islamica

A partire dall'XI secolo, ma particolarmente nel XII e nel XIII, anche la scienza islamica venne ad aver influenza sull'Occidente cristiano. L'importanza fondamentale della cultura islamica per il mondo occidentale consiste tuttavia in massima parte nell'aver essa tramandato e ordinato sistematicamente la scienza iranica ed indiana e soprattutto quella greca; essa inoltre arricchí le conoscenze scientifiche e tecniche con contributi originali, che portarono ad esempio ad una maggior precisione delle misure nel campo dell'astronomia e all'introduzione di semplici prove quantitative nel campo della fisica.

La tecnica offre realizzazioni magistrali nella costruzione di apparecchi soprattutto nelle opere di Benū Mūsā nel IV secolo e di al Ġāzarī intorno al 1200. D'altra parte questi si rifacevano completamente alle opere dei greci Filone ed Erone.

Strumento di Benū Mūsā per estrarre oggetti dall'acqua.

Mostreremo come si possa costruire un istrumento (fig. 11) con il quale l'uomo, calandolo dentro, può estrarre le perle dal mare o gli oggetti caduti nei pozzi o affondati nei fiumi o nei mari. A tal uopo prepariamo le due metà *abgr* e *whde* di un cilindro [cavo] di rame, che siano tra loro uguali; se una metà supera l'altra di un poco in grandezza, ciò è meglio per lo scopo propostoci, perché in tal guisa l'una metà può contenere [ingoiare] l'altra e [la seconda] penetrare un po' in essa. Ciascuno dei due [mezzi] cilindri sia lungo [grosso] un braccio o piú, il diametro del serchio sia 1/11 di braccio o piú. Se si vorranno fare piú deboli di quanto indicato, non si farà [uno strumento che possa servire]. Uno dei due mezzi cilindri viene quindi posto [separato] parallelamente all'altro di maniera che fra i due non vi sia un piccolo spazio. Si saldino quindi su di essi due cerniere, *lf* e *tm*, in modo che la linea *ar* della metà *abgr* non abbia ad allontanarsi dalla

corrispondente linea *wh* della metà *hwade*. Quando le due metà siano ribaltate l'una sopra l'altra, la linea *de* copre e tocca la linea *bg*; se le due metà si aprono, le linee *bg* e *de* si separano. Si saldino sui cilindri lungo le linee *bg* e *de* dei denti, come mostra la figura, di maniera

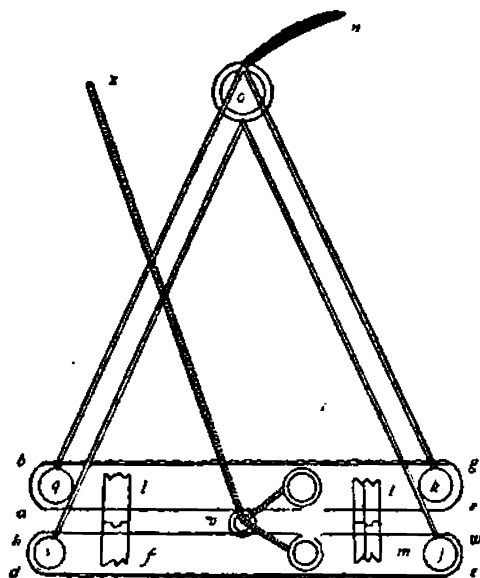



Fig. 11. *Strumento arabo per estrarre oggetti dall'acqua.* IX secolo.

che quando le due metà del cilindro siano chiuse, ogni dente venga a combaciare con altro dente. I denti devono essere piantati secondo la forma del cilindro, perché cosí è meglio. Sul retro dei due mezzi cilindri si saldino quattro anelli, *k*, *j*, *s*, *q*, e si verifichi che essi siano fissati solidamente. A questi quattro anelli si collegano quattro pezzi di una catena, e precisamente, come mostra la figura, a ogni anello una catena che sia lunga due braccia: se essa è lunga di piú o di meno, la cosa non è di danno. Le quattro estremità delle catene vengono unite in un punto *o*, e questo punto viene collegato con un'altra catena lunga, *on*, la cui misura corrisponde alla profondità del luogo dove si vuol calare l'istrumento. Un altro pezzo di catena viene fissato in mezzo alle lettere *a*, *h*, *r*, *w*, nel punto *u*, e precisamente in ciascuno dei due mezzi cilindri in vicinanza delle linee *ar* e *hw*. La lunghezza di questa catena sia quattro dita, la sua metà si trovi nel punto *v*. Si attacchi e si annodi al suo punto di mezzo una catena lunga *vx*.

Da quanto sopra discende che, se si tira a sé in un punto la catena *vx*, i due mezzi cilindri si chiudono l'uno sull'altro, e che, se si tira la catena *on* e quindi le quattro catene *ko*, *qo*, *so*, *jo*, i due mezzi cilindri si aprono. Se vogliamo quindi tirar su perle o altre cose che siano affondate allora tiriamo nel punto in cui sono unite insieme le quattro catene, e quindi l'istrumento si apre, come è stato descritto sopra. Lo caliamo quindi nel luogo desiderato. Quando esso avrà raggiunto il fondo e si fermerà su di esso, lasciamo un po' libera la catena *on*, con il che le quattro catene si allentano leggermente, e tiriamo la catena *vx*. L'istrumento raccoglie tutte le cose intorno alle quali ha girato [per chiudersi] e che ha preso dentro. Si tira quindi la catena *vx*, cosí da estrarre l'istrumento in modo che esso ricompaia e si possa prendere quanto si trova in esso ed è da esso trattenuto. [44]

Mostreremo ora come si costruisca in qualche posto vicino ad un

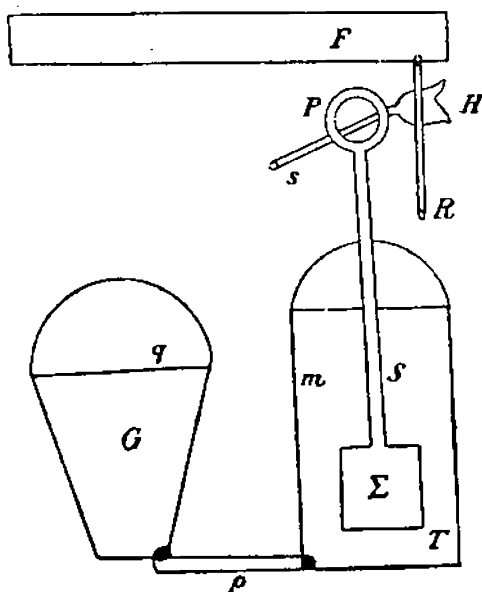



Fig. 12. *Dispositivo arabo per mantenere l'acqua a livello costante in un vaso.* IX secolo.

fiume un abbeveratoio che sia sempre pieno e dal quale gli uomini possano attingere acqua e gli animali bere, e nel quale tuttavia l'acqua resti sempre egualmente alta e non aumenti e non diminuisca (fig. 12).

Sia *F* il fiume. Conduciamo ad esso un tubo *R* fino al punto nel quale vogliamo costruire l'abbeveratoio. Su questo tubo venga adattato un rubinetto *H*. Sulla chiavetta di questo venga fissata un'asticciuola *s*. Il foro deve stare sullo stesso piano dell'asticciuola. Se allora l'asticciuola viene ruotata, anche il rubinetto ruota di conseguenza, fino ad essere aperto. Sotto al tubo *R*, mettiamo un recipiente *T* e in esso un galleggiante Σ. Sull'estremità superiore del galleggiante fissiamo un'asta *S* che arrivi fino all'asticciuola *s*. In questo punto fissiamo un anello *P* nel quale si infili l'asticciuola *s*, con il che, quando il galleggiante viene sollevato dall'acqua che riempie il recipiente, il rubinetto venga ruotato e si chiuda. Sia *m* il punto in corrispondenza del quale si chiude il rubinetto al salire dell'acqua in *T*. Disponiamo l'abbeveratoio *G* nel posto desiderato. Il suo orlo superiore deve stare nello stesso piano del ciglio superiore del recipiente *T*. Sul terreno o in vicinanza di questo conduciamo un tubo ρ che porti all'abbeveratoio, come abbiamo mostrato.

Dalla descrizione segue che, quando il galleggiante Σ si trova all'estremità inferiore del recipiente *T*, l'acqua scorre da *F* attraverso *R* in *T* e da questo attraverso ρ perviene all'abbeveratoio *G*. Con ciò il galleggiante Σ sale continuamente fino a che l'acqua non è salita fino a *m* e *q*. Quindi, il rubinetto si chiude e da esso non scorre piú nulla. Se poi si attinge dell'acqua da *G*, o se un animale si avvicina ad esso e beve l'acqua in esso contenuta fino a *q*, il galleggiante Σ si abbassa, il rubinetto si apre e in *T* scorre tanta acqua, quanta ne è stata presa o attinta da *G*. Cosí il giuoco continua, e ciò è quanto volevamo dimostrare. [45]

L'Occidente deve all'Oriente anche il mulino a vento, che venne nel XII secolo dall'Iran attraverso gli Arabi e costituí una nuova fonte di energia: assieme con la forza dell'acqua e con quella degli animali, contribuí a sostituire il lavoro dell'uomo e quindi a influenzare le condizioni sociali ed economiche. Riportiamo qui appresso tre brani relativi al mulino a vento, redatti nell'ambiente culturale arabo di un periodo dal X al XIV secolo, e precisamente da scritti di al-Mas'udi (950 circa), al-Qazwini (XIII secolo) e al-Dimaschqi (XIV secolo).

Il Segistān è la terra del vento e della sabbia; questa terra si distingue per il fatto che in essa il vento fa girare i mulini ed estrae l'acqua dai pozzi, cosicché essa possa irrigare i giardini. Non c'è nessun altro luogo sulla terra (e Dio solo lo sa) dove si faccia maggior uso del vento. [46]

Colà il vento non cessa mai, di modo che essi costruiscono i loro mulini avendo considerazione di ciò. Essi macinano esclusivamente con questi mulini. È una regione calda e possiede mulini basati sull'utilizzazione del vento. [47]

Nel Segistān si trova una regione, nella quale soffiano in gran numero i venti ed esistono grandi quantità di sabbia. I suoi abitanti adoperano i venti per far girare i mulini e per trasportare la sabbia da un luogo all'altro, di maniera che i venti sono ad essi sudditi (utili) cosí come essi sono stati sudditi di Salomone (sia pace a lui). Per costruire i mulini che son fatti girare dal vento [mulini a vento] essi procedono nel modo seguente. Costruiscono un edificio alto quanto un minareto, oppure prendono un'altra cima di monte o collina o una torre delle fortezze. Qui essi costruiscono un edificio sopra ad un altro. In quello superiore si trova il mulino, che gira e macina, in quello di sotto si trova una ruota che vien fatta girare dal vento cosí utilizzato (fig. 13). Se gira la ruota di sotto, gira anche il mulino posto sopra

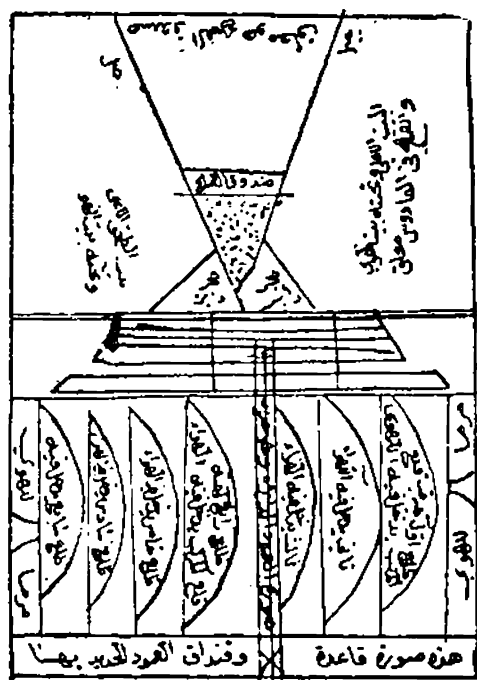



Fig. 13. *Mulino a vento arabo.* Sopra: la macina; sotto: la ruota a vento (ad asse verticale). Inizi del XIV secolo.

la ruota. Qualunque sia il vento che soffia, quei mulini girano, malgrado ci sia soltanto una pietra [da mulino].

Quando hanno compiuto la costruzione dei due edifici, essi fanno quattro feritoie nell'edificio inferiore, cosí come si fanno feritoie nelle mura, solo che sono disposte all'incontrario, poiché hanno la loro parte larga rivolta all'esterno e la stretta all'interno, facendo canali per l'aria, cosí che l'aria penetri con forza nell'interno, come con il mantice del fabbro. La parte larga si trova allo sbocco e quella stretta all'interno, poiché ciò è conveniente per far entrare l'aria, che penetra nell'edificio del mulino da qualsiasi parte soffi il vento. Quando l'aria è entrata in quel luogo attraverso le aperture per essa disposte nell'edificio del mulino, essa trova un apposito sarīs come quello dei tessitori, che su di esso dispongono l'un sopra l'altro i fili. Il dispositivo ha dodici pieghe [coste]; si può scendere fino a sei coste. Su di esse è fissato un tessuto, come quello che s'adopra per ricoprire le lampade, solo che il tessuto è suddiviso fra le singole righe, cosí che ogni riga risulta rivestita. Il rivestimento ha un'ampia piega, che l'aria riempie e spinge avanti. Quindi riempie l'aria quella seguente, e la spinge avanti, quindi riempie la terza. Questo sarīs pertanto gira; con la sua rotazione fa girare la pietra e macina il grano.

Tali mulini si impiegano nelle fortezze che sorgono su luoghi elevati e nei posti che hanno poca acqua ma molto movimento di aria. [48]

Alle piú eminenti realizzazioni tecniche del mondo islamico appartiene senza dubbio anche la costruzione di grandi impianti di irrigazione nell'Asia Minore, nell'Africa del nord e in Spagna. Al-Muqaddasī ci ha tramandato dal X secolo una descrizione della diga di Ahwāz in Persia.

Essa [la città di Ahwāz] è simile a Ramla; sorge sulle due sponde [del fiume] ma la parte maggiore dei mercati è sulla riva persiana.

... L'acqua [del fiume] scorre entro canali sopraelevati fino ai serbatoi d'acqua della città; una parte scorre verso i giardini ed arriva, presso la colonna a breve distanza dietro l'isola, alla Schāḍurwān [diga]; questa fu meravigliosamente costruita con blocchi di pietra per trattenere l'acqua dietro di sé. In quel luogo ci sono fontane e giochi d'acqua. La Schāurwān trattiene l'acqua e la ripartisce in tre canali, che la portano ai rispettivi sobborghi per irrigare gli orti. Dicono che se non ci fosse la Schāḍurwān, Ahwāz non sarebbe coltivata e non si trarrebbe utilità alcuna dai suoi canali.

Sulla Schāḍurwān ci sono porte che vengono aperte se l'acqua cre-

sce troppo di livello; se non si facesse ciò, Ahwāz verrebbe inondata. Dall'acqua che scorre si sente un fragore che per la maggior parte dell'anno ostacola il sonno. Esso è piú forte in inverno, perché deriva dalla pioggia e non dalla neve. Il fiume (Nahr) Maschruqān scorre attraverso le porte piú basse della città, ma è di solito asciutto. L'acqua viene accumulata in un luogo detto al-Dauraq. Ahwāz è fertile a cagione di questi canali e le navi vanno e vengono e attraversano il fiume come a Bagdād. I canali si suddividono nella parte piú alta della città e si ricongiungono in quella piú bassa in un luogo chiamato Kārschnān. Di là le navi si recano a Baṣra, ed essi hanno meravigliosi mulini sull'acqua. [49]

Le conquiste tecniche del Medioevo

La presente opera non ha affatto come obbiettivo una storia vera e propria della tecnica, ma non è possibile non mettere qui in rilievo una serie di singole scoperte tecniche effettuate nel Medioevo, nel periodo che va dai Carolingi alla fine del XIII secolo. Il Medioevo è infatti piú ricco di progressi tecnici di quanto comunemente si supponga. In particolare il Medioevo riuscí a rendere utilizzabile la forza bruta degli animali, dell'acqua e del vento in misura assai maggiore di quanto non era riuscita a fare l'antichità, che si era giovata in massima parte del lavoro degli schiavi. L'utilizzazione dell'energia del vento nei mulini era rimasta sconosciuta agli antichi, salvo forse per un progetto del primo secolo dopo Cristo dovuto a Erone di Alessandria, che aveva impiegato il vento per azionare la pompa di un organo. La trasformazione avvenuta nel Medioevo nel campo dell'utilizzazione delle fonti di energia significò un progresso tecnico di portata assai ampia, che si può paragonare, in tempi piú moderni, soltanto all'introduzione della macchina a vapore nel XVIII secolo e all'utilizzazione dell'energia nucleare ai giorni nostri. Le conquiste tecniche del Medioevo, che gettavano le basi per lo sviluppo tecnico attuale, non possono essere qui illustrate da documenti dell'epoca. Tecnica vuol dire attività creatrice, e non sempre questa attività ha trovato descrizione in

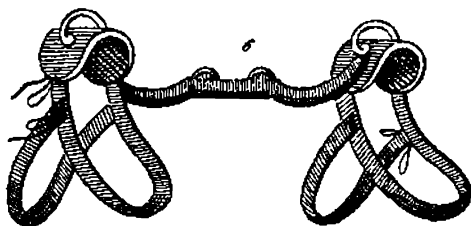
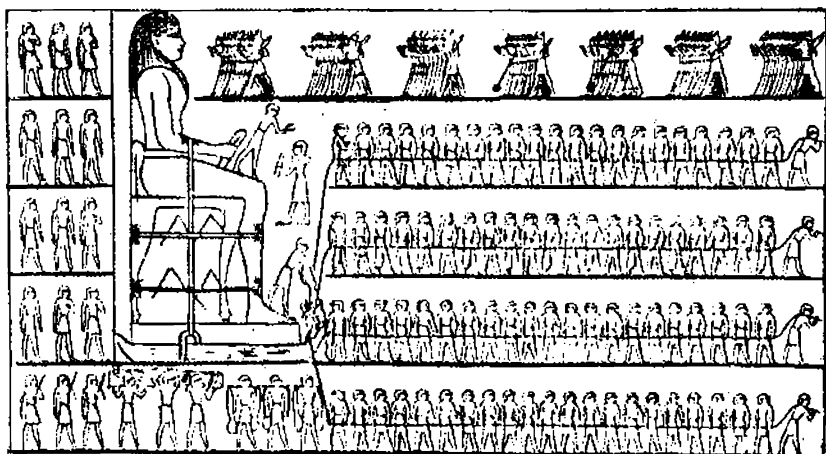
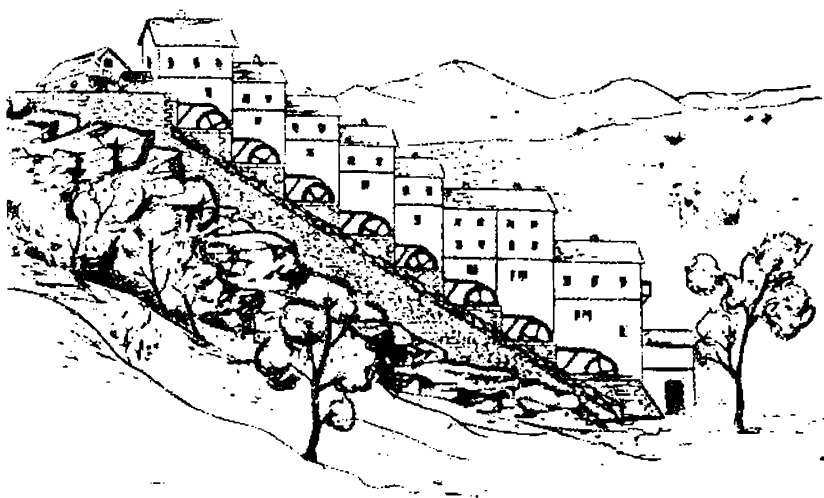
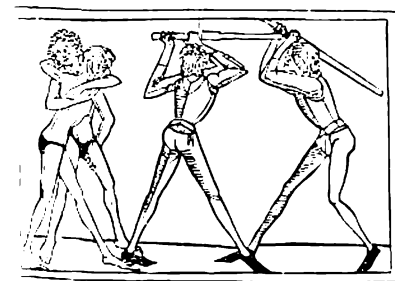



Fig. 14. *Giogo con pettorale e sottopancia per tiro a due.* Antico Egitto.

Tav. I a. *Lavoro di schiavi nell'antichità.* Trasporto su slitte di un colosso di alabastro alto 7 metri, eseguito da 172 schiavi. Bassorilievo di El Berschel (Egitto); 2.000 circa a.C.

b. *Mulino romano-gallico* del II-III secolo d.C., a Barbegal presso Arles. Ricostruzione. Sedici ruote idrauliche azionano trentadue macine.

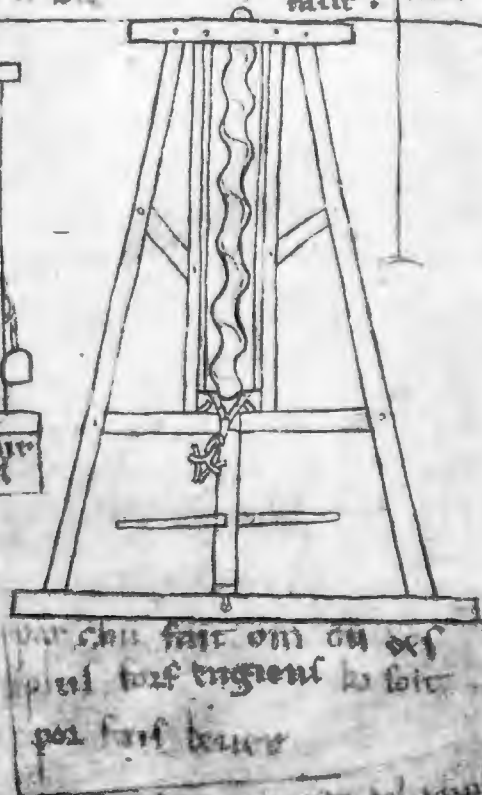
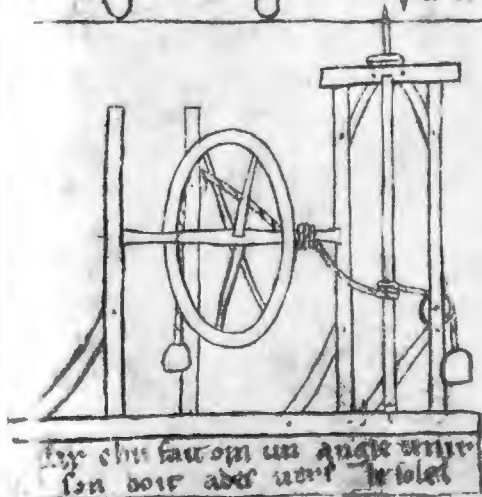
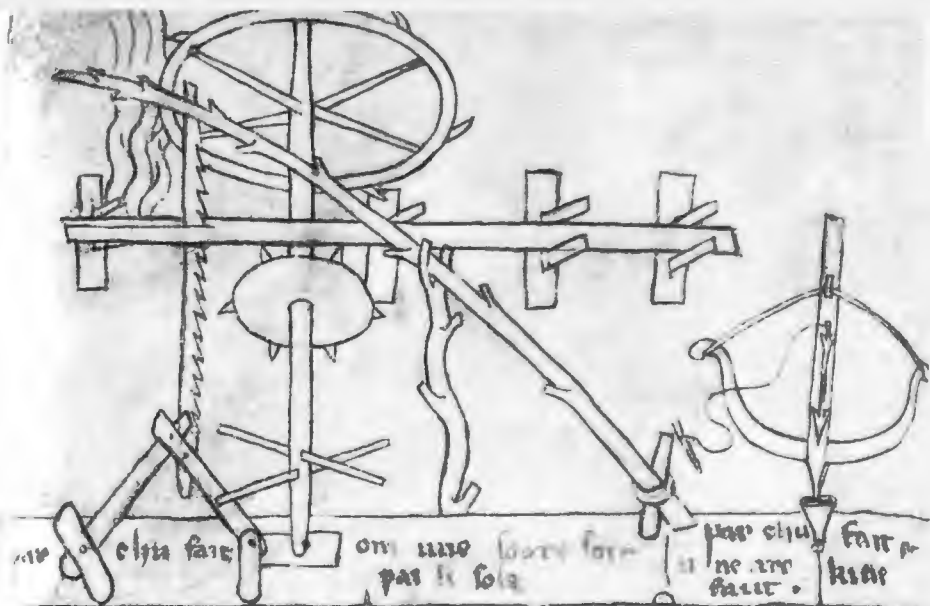
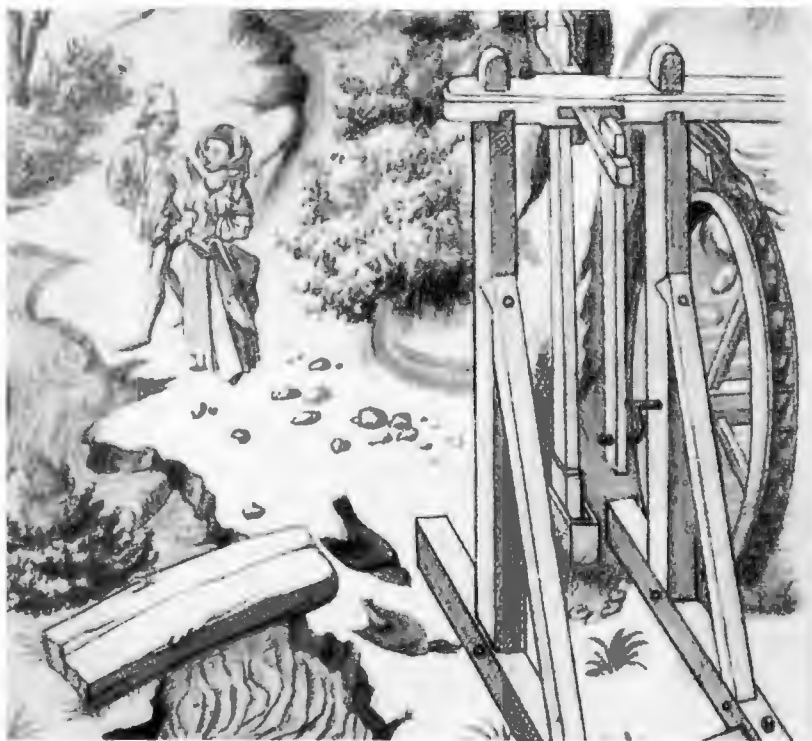
Tav. II. *Antichi acquedotti romani.* Dipinto di Zeno Diener.

Tav. III. *Le sette arti meccaniche*, secondo Ugo di S. Vittore: tessitura; forgiatura delle armi; nautica; agricoltura; caccia; medicina; arte scenica.

Tav. IV. *La più antica rappresentazione di un timone girevole posteriore.* Cattedrale di Winchester, anno 1180.

Tav. V. *Fonditura di campane.* Miniatura del Codice cracoviano di Beheim, anno 1505.

Tav. VI. *L'orologio a pesi e ruote.* Rame di P. Galle. 1570 circa.

Tav. VII. *Disegni di Villard de Honnecourt* In alto: sega automatica azionata da ruota idraulica; balestra. Al centro: meccanismo per un angelo che indichi sempre con il dito la posizione del sole; dispositivo di sollevamento a vite. In basso: aquila meccanica che può volgere il capo in una determinata direzione. 1235 circa.

par chu fait om un angle tenir son doit ades uers le solel
par chu fait om un des plus fors engiens ki soit por fais leuer

Tav. VIII. *Ruota idraulica a caduta d'acqua per azionare una pompa.* XV secolo.

opere letterarie. Proprio per le questioni che piú ora ci interessano manchiamo di sufficienti fonti scritte per il periodo del primo e dell'alto Medioevo. Dobbiamo pertanto utilizzare come fonti alcune rappresentazioni figurative dell'epoca.

Il Medioevo cristiano pervenne sin dal X secolo ad un perfezionamento dei finimenti per cavalli che consentí di aumentare fino a due o tre volte rispetto all'antichità lo sforzo ricavabile da un cavallo.

Gli antichi attaccavano una pariglia di cavalli al carro adoperando un doppio giogo posto sulla loro cervice. Il giogo era assicurato ad ognuno dei due cavalli mediante una cinghia pettorale e un sottopancia. A metà del giogo era fissato il timone del carro. Nel tirare, il pettorale comprimeva la trachea dell'animale per cui esso veniva impedito dall'esercitare il giusto sforzo (figg. 14, 15, 16). In luogo dell'antico sistema del giogo si introdusse

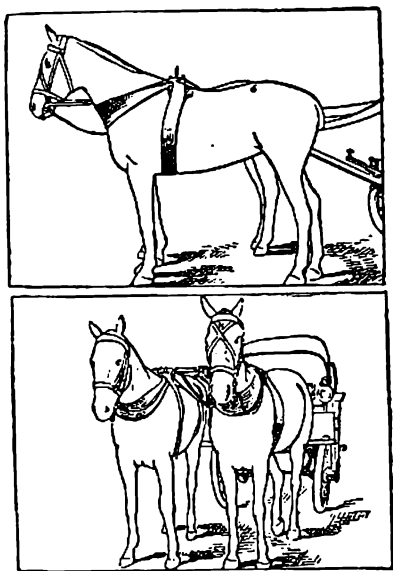



Fig. 15. *Tiro a due con giogo con pettorale e sottopancia.*

una specie di collare con tiranti, che poggiava sulle spalle. Il cavallo tirava ora con le spalle, e poteva sviluppare la sua piena potenza (figg. 17 e 18). Se nell'antichità era stato necessario far trasportare dagli schiavi i carichi piú pesanti, ora era possibile impiegare i cavalli per simili trasporti. E già nel IX-X secolo era stato introdotto in Occidente l'uso della sella moderna, delle staffe, del morso e dei ferri fissati con chiodi allo zoccolo. L'uso delle staffe, sorto forse nelle steppe dell'oriente, cambiò la tattica della cavalleria.

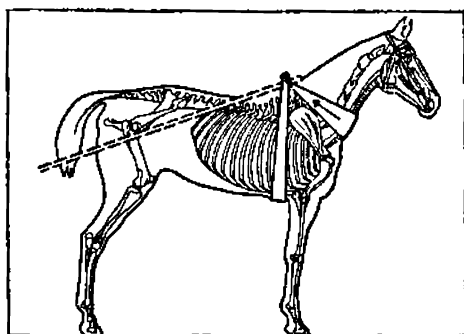



Fig. 16. *Bardatura antica con pettorale e sottopancia.* Il pettorale comprime la trachea dell'animale.

I cavalieri infatti con le staffe ebbero un appoggio piú sicuro, che permise di condurre gli assalti con piú efficacia. L'uso dei ferri consentí poi di utilizzare il cavallo assai meglio di quanto non avessero potuto fare gli anti-

Fig. 17. *Mulo e cavallo al lavoro nei campi.* Il cavallo di destra porta i nuovi finimenti con collare. Da un tappeto di Bayeux; XI secolo.

chi, che usavano tutt'al piú un riparo che veniva annodato allo zoccolo e anzi risultava di impedimento per il cavallo. Questi progressi avvennero lentamente, tuttavia con il tempo si accrebbero le possibilità di liberare in

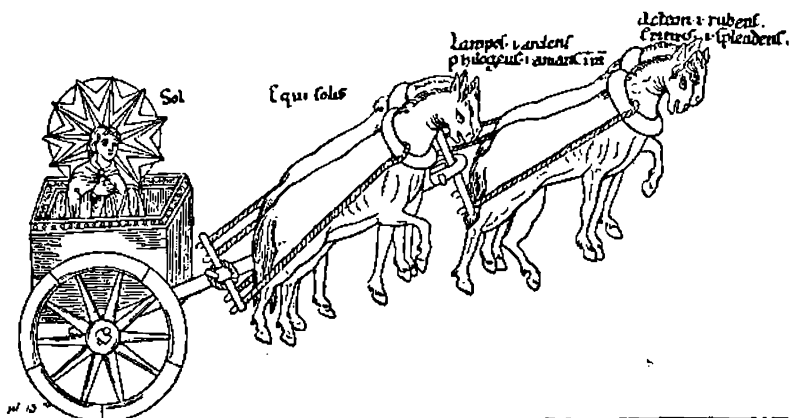



Fig. 18. *Le nuove bardature.* Anno 1080 circa.

parte l'uomo dai lavori piú pesanti. L'uso del cavallo fu esteso anche ai lavori agricoli. Il miglioramento del sistema di traino consentito dai nuovi finimenti permise d'impiegare il cavallo anche per il pesante lavoro dell'aratura (fig. 19). Il cavallo diede modo di compiere i lavori agricoli con

Fig. 19. *Cavalli con la nuova bardatura* e aratro a ruote.

molto maggior rapidità che non con il lento bove. Il pesante aratro a ruote con coltello verticale, vomere orizzontale ed orecchie per rivoltare le zolle spaccate, è una scoperta dell'alto Medioevo. Può essere che l'aratro a ruote sia stato impiegato in qualche caso anche nell'antichità, però soltanto nell'epoca carolingia venne in uso la sua forma pesante, insieme con il triplice avvicendamento nella coltivazione e semina dei campi. Ma il pesante aratro a ruote nella sua forma sopradescritta comparve soltanto verso il XIII secolo. La conseguenza fu una sostanziale intensificazione dell'agricoltura.

Alla forza degli animali, ora piú efficacemente impiegata, si vennero ad aggiungere l'energia del vento e quella dell'acqua, pure esse rese tecnicamente sfruttabili. La navigazione a vela fu incrementata, a partire dal IX secolo, grazie a miglioramenti apportati alla velatura. Ma sia le navi vichinghe con le loro vele a pennone, sia le galee d'alto mare provviste di vele latine dovevano servirsi anche di rematori. Nel XII secolo apparve però nel Nord l'ampia nave a vela, sprovvista di rematori, che teneva ottimamente il mare: un'altra battaglia vinta per l'eliminazione della schiavitú. Pure nel XII secolo circa si ebbe la scoperta del timone (remo ad angolo)

(figg. 20 e 21; tav. IV) con il quale la nave divenne assai piú manovrabile rispetto a quelle che utilizzavano come timone un normale remo laterale; in particolare, cosí la nave poteva meglio seguire il corso del vento. La

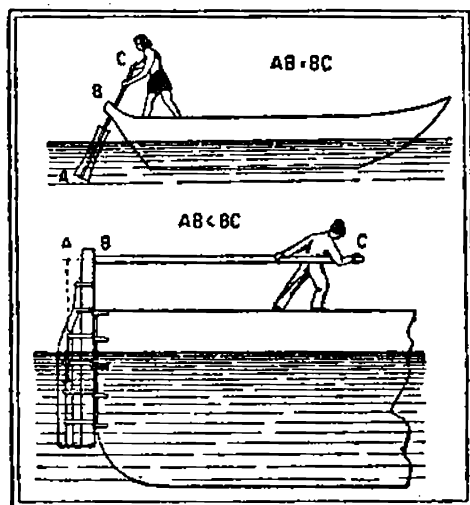



Fig. 20. *Il vecchio e il nuovo timone ad asse verticale,* secondo Lefebvre des Noëttes.

bussola, che pure proveniva dall'Oriente e comparve per la prima volta in Europa nel XIII secolo nella sua forma composta dell'ago magnetico, della rosa dei venti e della sospensione, costituí, assieme agli altri elementi sopra

Fig. 21. *Timone verticale a cerniera.* Anno 1242.

nominati, la premessa per la conquista del mare aperto. Pure importante a questo riguardo fu la diffusione della caravella, a partire dal XIV secolo. Vogliamo illustrarla brevemente, anticipando i tempi: mentre le navi del tipo pinazza, come le navi vichinghe e le cocche anseatiche, erano costruite con tavole che si sovrapponevano a embrice, la caravella consisteva invece di tavole commesse l'una all'altra. Con il diffondersi di questo tipo di costruzione anche nel Nord, dove in parte era già usata fin dall'antichità, si ebbe la possibilità di aumentare le dimensioni delle navi.

Abbiamo già rilevato come il mulino a vento, proveniente dall'Oriente, sia stato introdotto nel XII secolo in Occidente, contribuendo a sostituire la forza muscolare dell'uomo. Accanto al mulino a vento, si ebbe però pure uno sviluppo del mulino ad acqua. Esso era infatti già noto agli antichi, e veniva impiegato qua e là nelle provincie romane transalpine, in grandi impianti: acquistò però diffusione ed importanza solo a partire dal XII secolo. Solo nel XII secolo troviamo ruote idrauliche per azionare mulini, segherie, gualchiere, mantici, e piú tardi, anche filande e fucine. A tale scopo si dovettero trovare dispositivi che trasformassero il moto rotatorio della ruota idraulica in un moto alternativo, nei casi in cui ciò risultava necessario. Servirono a questo scopo gli alberi a camme e, a partire dal XV secolo, anche il meccanismo a biella e manovella (tav. VII; fig. 31). Nella Germania orientale i Cistercensi, che si stabilivano spesso nelle valli piú solitarie, si fecero pionieri di importanti realizzazioni tecniche, principalmente dell'utilizzazione dell'energia idraulica nei mulini da grano, nelle fonderie, nelle fucine, nelle segherie e nelle gualchiere.

Il grande incremento dei trasporti dovuto alla migliore utilizzazione della forza di traino dei cavalli può senz'altro aver sostanzialmente contri-

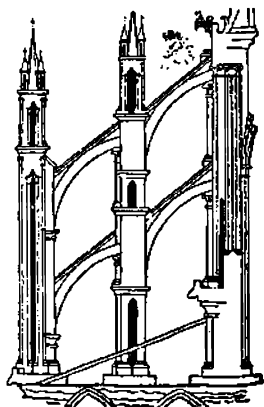



Fig. 22. *Pilastri ed archi rampanti: architettura gotica del XIII secolo.* Disegno di Villard de Honnecourt; 1235 circa.

buito alla graduale sostituzione dei mulini domestici azionati a mano con mulini ad acqua di potenzialità molto maggiore, che provvedevano alla macinazione del grano per tutta una vasta zona circostante; la stessa cosa si può dire per le segherie, le fucine ed altri impianti tecnici.

Parallelamente a tale sviluppo, deve essersi svolto il miglioramento delle via di traffico (strade, ponti, canali), di cui abbiamo testimonianze per l'alto Medioevo. L'azionamento dei mantici mediante ruote idrauliche consentí nel tardo Medioevo la produzione della ghisa. Lo sfruttamento delle miniere ricevette nuovo incremento dalle pompe azionate ad acqua e da nuovi metodi di escavamento dei minerali. Dopo che il periodo romanico aveva fatto rivivere l'antica tecnica della costruzione di volte, applicandola con grandiosità alla costruzione di chiese, lo stile gotico del XII e XIII secolo pervenne all'innovazione dei pilastri e degli archi rampanti (fig. 22) e creò, in una comunità di lavoro artigianale fra uomini liberi, la meraviglia delle cattedrali gotiche come espressione del nuovo spirito cristiano-occidentale: un *Credo ut intelligam* tradotto in pietra, un'armonica unità di simbolismo

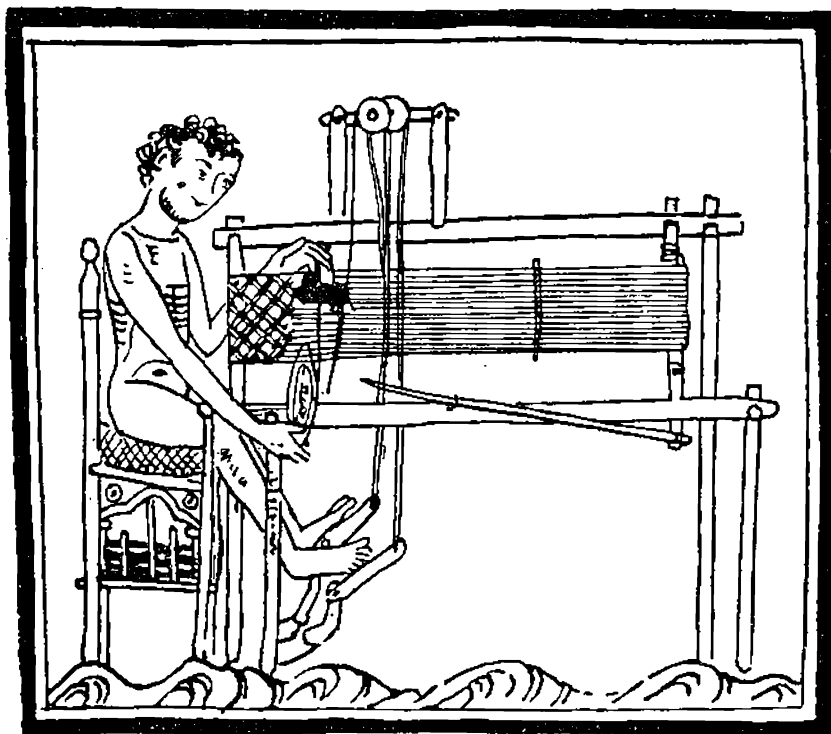



Fig. 23. *Telaio a pedale con due alberi.* Fine del XII secolo.

architettonico e di strutturalismo tecnico. Il cantiere medievale fu foriero di molti progressi tecnici anche in campi diversi dall'architettura.

Nel campo della tecnica tessile, l'alto Medioevo ottenne notevoli successi per la progressiva meccanizzazione dei singoli processi elementari: nel XII secolo si svilupparono i telai a pedali ed i cosiddetti arcolai a mano (figg. 23, 24). Il tardo Medioevo vide in qualche caso una evoluzione del-

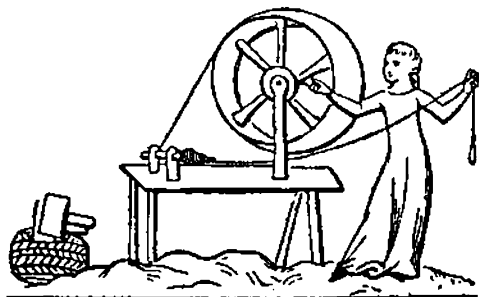



Fig. 24. *Ruota per filare con spola.* Si noti che dipanatura e filatura non possono avvenire contemporaneamente ma solo alternativamente. Anno 1300 circa.

l'industria tessile verso forme di economia capitalistica. Un esempio significativo è fornito dalla produzione di panno di lana a Firenze, nel cui sviluppo ebbero parte anche i monaci Umiliati che vivevano secondo la regola di S. Benedetto e si trasferirono a Firenze nel 1239, migliorando particolarmente i processi iniziali nella fabbricazione del panno. Nel XIV e XV secolo la fabbricazione di panni a Firenze pervenne a particolare floridezza per mano di una borghesia piena di iniziative. Una grossa officina centrale con lavoratori salariati era unita organicamente a singoli stabilimenti sparsi che si avvalevano di lavoranti a domicilio. Si formò, presto, cosí, una distribuzione di lavoro eccezionalmente densa; nel 1338 esistevano a Firenze oltre 200 officine tessili: 30.000 uomini vivevano con la produzione del panno. Ma grandi organizzazioni di questo genere, che già significavano una rottura del sistema economico medioevale, costituivano soltanto un'eccezione.

Il Medioevo consentí il compiersi di progressi sostanziali anche nel campo della chimica. Il perfezionamento degli apparecchi per distillazione rese possibile la distillazione dei liquidi a basso punto di ebollizione. Dalla distillazione del vino si giunse cosí in Italia, nell'XI secolo, a produrre l'alcool, un liquido che, contrariamente ai principi elementari della fisica aristotelica, non era contraddistinto dalle due condizioni di essere umido e freddo, ma presentava proprio le qualità di essere, per cosí dire, asciutto e ardente. Di portata ancor maggiore per la chimica e la tecnica chimica

fu la scoperta, nel XII secolo, degli acidi forti, l'acido solforico e l'acido nitrico. Questi acidi, che furono descritti soltanto nel XIII secolo, si ottennero attraverso la distillazione a secco di allume e vetriolo o, rispettivamente, allume, vetriolo e salnitro. Con l'acido nitrico si aveva un mezzo per separare l'argento dall'oro. La metallurgia ricevette cosí un forte impulso.

Un'influenza sulla vita degli uomini, specialmente di quelli di città, ancora maggiore che non quella delle conquiste suddette, esercitarono due scoperte della fine del XIII secolo: l'orologio a pesi e ruote e gli occhiali (tav. VI). Con l'orologio a pesi e ruote si affermò il concetto delle ore di ugual durata, mentre prima il giorno e la notte venivano divisi, ciascuno come unità indipendente, in dodici ore, cosí che la durata delle ore era variabile a seconda della stagione: d'estate si avevano ore diurne lunghe e ore notturne corte e d'inverno l'opposto; da questo tempo invece si usarono ore di durata indipendente dal mutare delle stagioni. Ciò significava un allontanamento dalla natura: il meccanismo tecnico dell'orologio a ruote era prevalso sulla natura. La vita mercantile delle città del basso Medioevo ed il piú vasto traffico commerciale furono agevolati da questo progresso. Anche gli occhiali costituirono, per cosí dire, un mezzo tecnico interposto fra il soggetto e l'oggetto. Gli occhiali, dapprima soltanto del tipo con due lenti convergenti per presbiti, contribuirono sicuramente come mezzo esterno alla grande rivoluzione spirituale dei secoli seguenti: l'uomo poteva ora infatti leggere fin nella piú tarda vecchiaia. Esistevano pertanto i mezzi materiali per una piú ampia acquisizione di beni spirituali.

Tratteremo piú oltre le conquiste tecniche del Trecento, secolo fecondissimo, e del Quattrocento, che già mostra in parte lo spirito del Rinascimento, insieme con i problemi che ne derivarono.

Villard de Honnecourt, Pierre de Maricourt e Ruggero Bacone

Il vasto lavoro di un architetto e ingegnere medioevale del XIII secolo ci viene vivacemente rappresentato dal *Libro di cantiere* di Villard de Honnecourt, originario della Piccardia. Quest'album composto di 33 fogli di pergamena, messo insieme intorno al 1235, è una raccolta di esempi per scopi didattici, e comprende progetti architettonici, costruzioni geometriche per l'architetto, problemi di misurazione, disegni di apparecchi e macchine per la guerra e per la pace, un progetto di *perpetuum mobile*, studi di anatomia artistica e di proporzioni. Secondo lo spirito di Vitruvio, anche qui la costruzione di macchine appartiene alla sfera d'attività dell'architetto. Vicino a grosse macchine di legno, quali un dispositivo di sollevamento e una catapulta, sono descritti piccoli apparecchi per usi di chiesa, come una piccola sfera con bracere a sospensione cardanica per scaldarsi le mani, un angelo che indica sempre con il dito la posizione del sole, un'aquila meccanica che volge il capo verso il sacerdote. In questi dispositivi si può riconoscere l'influenza della tecnica alessandrina ed araba. La sega con avanzamento automatico, azionata da una ruota idraulica, è invece una realizzazione propria della tecnica medievale. Il moto perpetuo, realizzato con una ruota munita di un numero dispari di martelli mobili, che dovrebbe girare eternamente da sola, viene qui incontrato per la prima volta nella tecnica occidentale. Il moto rotatorio perpetuo è un fenomeno delle sfere celesti; esso appartiene, nel senso dell'aristotelismo medievale, al mondo translunare. I tentativi effettuati dall'uomo, a partire dal XIII secolo, per riprodurre qui sulla terra un simile moto perpetuo possono forse venir definiti come una profanazione del pensiero aristotelico, che attribuiva soltanto al cielo la possibilità di moti rotatori perpetui: e ci si imbatte in questi primi tentativi di profanazione dell'idea aristotelica dei moti celesti proprio quando, a partire dal principio del XIII secolo, comincia ad essere conosciuto in Occidente attraverso gli arabi tutto Aristotele, e in particolare la sua cosmologia e la sua fisica. L'uomo occidentale, nel suo sforzo di plasmare la natura, vorrebbe dare il via ad un moto

Maint ior se sunt maistre despute de faire tor- ner une ruee
par li seule ves ent ci co en puet faire par mailles non pers
par uif argent.

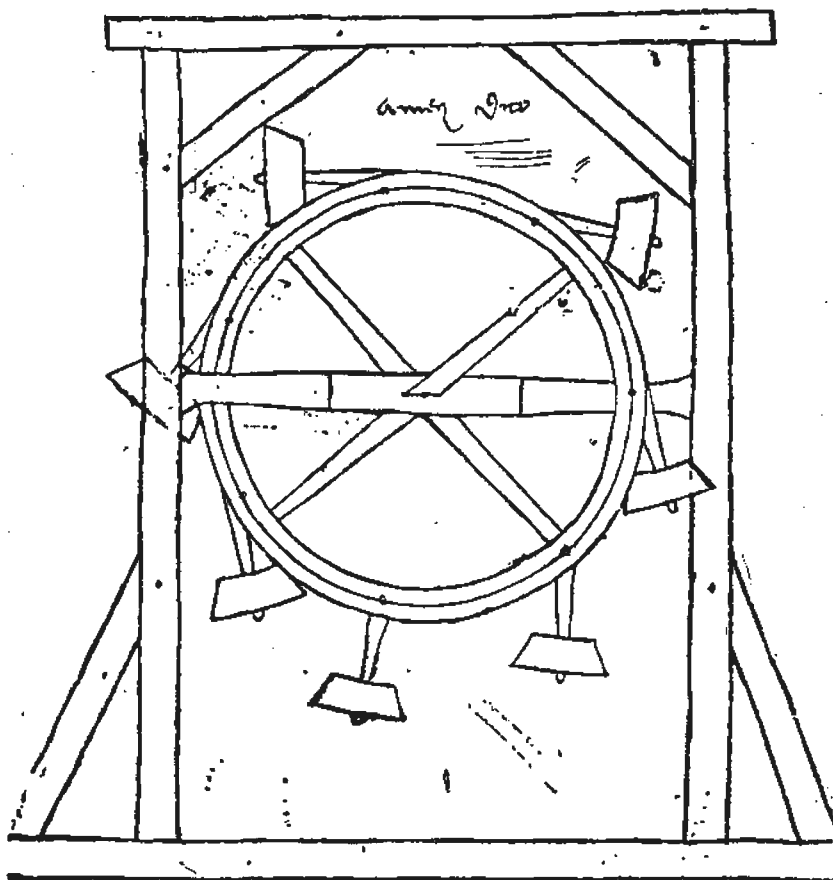



Fig. 25. *Moto perpetuo*. Il francese antico della didascalia (Maint jor se sunt maistre desputé de faire torner une ruée par li seule; vès ent ci com en peut faire par maillès non pers u par vif argent) è tradotto a pag. 91. La ruota, ad asse verticale, è rappresentata in proiezione. Disegno di Villard de Honnecourt; 1235 circa.

circolare perpetuo sulla terra che fosse un'immagine dei moti divini delle sfere celesti.

Riportiamo ora alcuni degli schizzi di Villard con le relative didascalie (fig. 25; tav. VII).

Villard de Honnecourt vi saluta e prega tutti coloro che lavoreranno traendo aiuto da questo libro, di pregare per la sua anima e di serbar ricordo di lui. Poi che in questo libro si possono ritrovar buoni consigli sulla grand'arte della muratura e sulle costruzioni di carpenteria; e troverete in esso l'arte del disegnare, i fondamenti, cosí come la disciplina della geometria li richiede ed insegna. [50]

Lungo tempo hanno i maestri discusso del far girare una ruota di per sé sola. Eccone una che si può fare con un numero dispari di martelli o con argento vivo (fig. 25). [51]

Se volete costruire un apparecchio per riscaldarvi le mani, dovete prendere una specie di sfera di rame grossa come una mela, con due metà che si chiudano l'una nell'altra. Nella sfera di rame devon esservi sei anelli di rame; ogni anello abbia due perni e nel mezzo di essi ci sia una piastra con due perni. I perni devono l'un con l'altro giocare, cosí che la piastra portabrace resti sempre dritta [orizzontale]. Poiché un perno porta l'altro, se voi la fate a modo, cosí come v'indirizzano il testo e il disegno, potrete rigirar [la sfera] da qualunque parte vogliate, che mai la brace non cadrà. Questo apparecchio va bene per un vescovo; ei può di buon animo assistere ad un ufficio solenne, ché mentre tratterrà nelle mani questo apparecchio, ei non avrà mai freddo per tutto il tempo che durerà il fuoco. Di esso nulla v'è di migliore. L'apparecchio è fatto in modo che, da qualsiasi parte esso sia rigirato, la piastra resta sempre diritta. [52]

In questo modo si fa una sega che seghi da sola (tavola VII).

In questo modo si fa un arco che non fallisce.

In questo modo si fa un angelo che sempre indica con il dito la posizione del sole.

In questo modo si fa una delle piú forti macchine che esistano per sollevar pesi.

In questo modo si fa un'aquila che rivolge il suo capo al diacono, quando questi legge il Vangelo. [53]

Pierre de Maricourt, un compatriota di Villard de Honnecourt, nel 1269, durante una crociata, scrisse da Lucera al suo amico Siger de Foucaucourt una *Epistula de Magnete* che conteneva una magistrale ricerca

sperimentale sui magneti nonché un tentativo per il loro impiego.

I poli celesti, nella sua concezione, sono sede della forza orientativa magnetica, che egli riteneva una *virtus Dei*. Egli eseguí una serie di notevoli prove, che lo portarono ad alcune chiare cognizioni sul magnetismo, cognizioni alle quali non poté essere aggiunto alcunché di nuovo fino all'epoca di William Gilbert, intorno al 1600. Pierre mise l'accento sul valore delle prove sperimentali e sulla necessità che gli studiosi della natura possedessero una grande abilità manuale e familiarità con la natura delle cose in generale ed i movimenti del cielo. E nella seconda parte della sua lettera cercò, come Villard de Honnecourt, di creare l'equivalente terrestre dell'eterno moto di rotazione del firmamento, in una macchina che si movesse perpetuamente di per sé. Nella calamita, che a suo avviso già misteriosamente seguiva le forze orientatrici del cielo e costituiva quindi un punto di collegamento fra macrocosmo e microcosmo, egli credeva di aver trovato il modo che gli consentisse di realizzare la sua idea, di ottenere cioè un moto rotatorio perpetuo terreno. La lettera di Pierre de Maricourt costituisce una significativa testimonianza della volontà di creazione tecnica posseduta dall'uomo occidentale nell'età gotica, anche se in questo caso la realizzazione dell'idea doveva naufragare, malgrado la conoscenza di alcuni importanti dati sperimentali, a causa del substrato troppo speculativo.

Come debba esser dotato il maestro [*artifex*] di quest'opera. Tu devi sapere, amico caro, che il maestro di quest'opera deve aver familiarità con la natura delle cose ed esser istruito sui movimenti del cielo. Egli deve pure esser ben esercitato nell'abilità manuale, per poter mostrare cosí [mediante la calamita] mirabili effetti. Imperocché attraverso la sua abilità manuale può correggere fino a un certo grado gli errori, ciò ch'ei non potrebbe con le sole conoscenze fisiche e matematiche, se tale abilità gli mancasse. Nell'opere occulte infatti molto ci abbisogna la perizia manuale, poiché senza di essa spesso nulla si otterrebbe di compiuto. Molto d'altra parte è soggetto al dominio dell'intelletto, che non potremmo compiere interamente con il lavoro delle mani.

Da ciò risulta quindi come debba essere dotato il maestro di quest'opera. [54]

In questo capitolo ti discoprirò la costruzione di una ruota (fig. 26), che si muove costantemente in modo meraviglioso. Ho veduto molti uomini occuparsi invano di questo compito e consumarsi nel lavoro di scoprire una simile ruota. Ma ad essi non riuscí in alcun modo di riconoscere che con la forza o la virtú di questa pietra [magnetica] tutte le difficoltà possono essere superate.

Se vuoi costruire una simile ruota, prendi una coppa d'argento, come quella degli specchi concavi, che sia dotata nell'interno di incisioni e trafori, non solo per motivi di bellezza, ma anche allo scopo di diminuirne il peso; poiché quanto piú essa è leggera, tanto piú rapidamente può esser posta in movimento. Devi però ben badare che l'occhio dell'inesperto non si accorga di quanto in essa è abilmente predisposto. All'interno della coppa devono essere fissate delle liste di

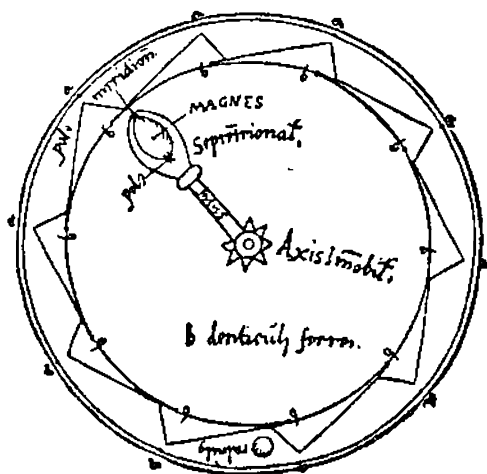



Fig. 26. *Moto perpetuo magnetico.* Anno 1269.

ferro o dei denti di ugual peso, che siano posti in direzione obliqua sull'orlo della coppa, uno dopo l'altro, in modo che la loro distanza non sia maggiore dello spessore di un fagiuolo o di un pisello. La ruota stessa deve avere ugual peso in ogni sua parte. Fissa il centro dell'asse, attorno al quale gira la ruota, in modo che esso resti immobile. Disponi sull'asse un'asta d'argento, alla cui estremità sia fissata, tra due capsule, una pietra magnetica, che deve essere stata preparata nel modo seguente.

Quando essa sia stata arrotondata e si siano individuati i suoi poli, come ho indicato prima, le si deve dar forma d'uovo. Mentre i poli vengono lasciati come sono, si limi la parte compresa fra di essi, cosicché venga ridotta ed occupi meno posto. In tal modo essa non toccherà le pareti delle capsule, quando la ruota gira. Quando ciò sia fatto, fissa la pietra sull'asta metallica, cosí come si incastona una pietra pre-

ziosa. Si diriga il polo nord verso le liste e i denti della ruota, ma leggermente inclinato, in modo che la forza della pietra non agisca direttamente, ma sotto un certo angolo sui denti di ferro. A seguito di ciò un dente che si avvicini al polo nord e, in virtú del moto della ruota, lo superi, viene ad avvicinarsi al polo sud, dal quale esso è ora piú respinto che non attratto, come manifestamente avviene secondo la legge che ho esposto nel precedente capitolo. Un tale dente viene quindi di continuo attratto e respinto. Al fine che piú velocemente compia la ruota il suo lavoro, si ponga nella coppa un piccolo peso rotondo di bronzo o argento, di grandezza tale da poter essere facilmente nascosto fra ogni coppia di denti. Quando ora la ruota sale, il piccolo peso cade dalla parte opposta. Poi che però il moto della ruota è sempre di salita per l'una delle due parti, parimenti incessante è il cadere del piccolo peso fra due denti qualsiasi, poiché esso tende per il suo peso al centro della terra. Con ciò esso appoggia il moto dei denti ed impedisce che questi si fermino quando vengono a cadere esattamente davanti alla pietra magnetica. Fa di larghezza opportuna lo spazio fra i denti, cosí che il piccolo peso resti nascosto durante la caduta, come è illustrato dal disegno.

Addio! Terminato nel campo dell'assedio di Lucera l'8 agosto anno Domini 1269. [55]

Il discepolo di Pierre de Maricourt, Ruggero Bacone (1214-1294 circa), complessa figura che difficilmente può ridursi a una definizione, per il forte impulso dato all'osservazione e alla prova sperimentale, a considerare solo alcuni dei suoi scritti, sembra spiritualmente affine ai fondatori della nuova scienza sperimentale della natura; appare invece in altra luce se consideriamo l'intera opera sua. L'esperienza aveva in Bacone un'importanza diversa che nella nuova scienza sperimentale: essa doveva mostrare come il sapere conquistato per via speculativa potesse apportare anche un utile pratico. Non si tratta quindi di un'indagine sistematica della natura attraverso prove sperimentali, ma piuttosto dello sforzo di applicare il sapere tradizionale, onde acquistare potere sulla natura per dominarla e superarla. In tal modo poterono naturalmente essere acquistate anche nuove conoscenze, alle quali la scienza speculativa non aveva condotto. La scienza sperimentale di Bacone non era quindi altro che creazione tecnica. E quindi da essa furono attratti piú gli artigiani e gli alchimisti che non gli studiosi della natura. La sua smania creativa, sollecitata da una ricca fantasia, lo portò anche a divinare realizzazioni tecniche future.

Esistono due vie che portano alla conoscenza, l'argomentare e lo

sperimentare. Il primo trae conclusioni logiche e porta ad aderire a tali conclusioni, ma non dà sicurezza alcuna e non allontana il dubbio tanto da appagare lo spirito nella visione della verità. Ciò avviene solo quando la verità è confermata dall'esperienza. Cosí anche la scienza della natura deve poggiare sull'esperienza; senza di questa, nulla si può sapere con sicurezza. Fra teologhi e filosofi è ad esempio diffusa l'opinione che il diamante si può spezzare solo nel sangue di un caprone. Ma su ciò non esiste alcun dato d'esperienza, ché esso può anche spezzarsi senza tale sangue, come io stesso ho veduto con i miei propri occhi. [56]

Senza la matematica è impossibile giungere a una giusta conoscenza delle cose del mondo. Ciò è chiaro di per sé nell'astronomia. Il numero e la grandezza delle stelle, la loro forma, la loro distanza ed i loro movimenti nascondono leggi matematiche, che possiamo fermare nelle tavole e nei cànoni. Ma anche i fenomeni che si svolgono qui sulla terra abbisognano di questa scienza per essere indagati. Poiché ogni cosa agisce attraverso le forze che si sono applicate, e quindi secondo linee, angoli e figure. [57]

Si potranno fare navigli che procedano senza rematori, cosí che essi veleggino come le grandi navi dei fiumi e dei mari, mentre un solo uomo li pilota, e con velocità maggiore che se fossero pieni di rematori. Parimenti potranno farsi carri non tirati da alcun animale, che procedano con incredibile forza, come si legge dei carri falcati degli antichi. Potranno essere costruite macchine per volare, per modo che l'uomo, sedendo nel centro dell'apparecchio, lo guidi attraverso l'aere come un uccello in volo. Inoltre si potranno fare strumenti, che siano piccoli in sé, ma che siano sufficienti a sollevare ed a premer giú grossi pesi. Essi saranno alti solo tre dita e larghi altrettanto, e con essi un uomo potrà togliersi da solo dal carcere. Si potrà anche produrre un apparecchio con il quale un solo uomo possa attrarre a sé, malgrado i loro sforzi, mille uomini. Ugualmente si potranno produrre ordigni per camminare sull'acqua, e per immergersi senza pericolo alcuno, come già ne faceva costruire Alessandro Magno. [58]

L'artigianato urbano

Sin dall'alto Medioevo, al fiorire della vita cittadina e delle libere istituzioni della città era collegato lo sviluppo di una vasta tecnica artigianale urbana, i cui prodotti testimoniano di un lavoro libero, condotto secondo costumi cristiani. Il XIV secolo era l'epoca in cui fiorivano particolarmente le gilde e le corporazioni. In alcune città troviamo fino a 50 o 60 corporazioni diverse. Queste cifre danno una dimostrazione della accentuata specializzazione del lavoro artigianale. Norimberga, che costituiva una particolare eccezione fra le città medievali non avendo corporazioni proprie, albergava nel 1363 non meno di 50 gruppi artigiani con un complesso di 1217 maestri:

1.	calzolai	81 maestri
2.	sarti	76 maestri
3.	fornai	75 maestri
4.	coltellinai	73 maestri
5.	macellai	71 maestri
6.	cuoiai	60 maestri
7.	pellicciai	57 maestri
8.	ciabattini	37 maestri
9.	conciapelle	35 maestri
10.	bottai	34 maestri
11.	tintori	34 maestri
12.	ottonai, cinturai, stagnai, lattonieri	33 maestri
13.	mantellinai	30 maestri
14.	lanaiuoli	28 maestri
15.	magnani	24 maestri
16.	specchiai, vetrai suburbani	23 maestri
17.	fabbricanti d'aghi e fili metallici	22 maestri
18.	maniscalchi	22 maestri

LINEA SETTENTRIONALE.

Figura Ottaua.

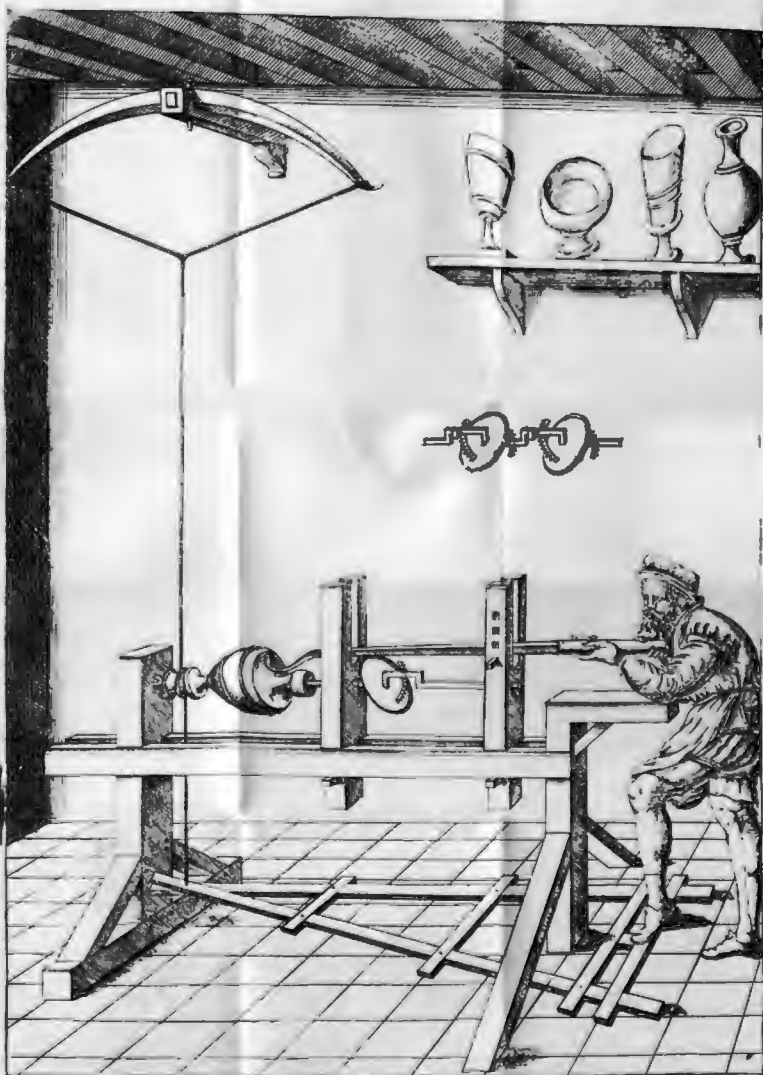
LINEA OCCIDENTALE.

LINEA ORIENTALE.

LINEA MERIDIONALE.

Ang. Del Sett. Dell'Occ.

Ang. Del Sett. Dell'Or.

Ang. Dell'Occ. Del Mezz.

Ang. Dell'Or. Del Mezz.

19.	valigiai	22 maestri
20.	fabbricanti di guanti di ferro	21 maestri
21.	carradori	20 maestri
22.	cappellai	20 maestri
23.	pescatori	20 maestri
24.	speronari, fabbricanti di staffe	19 maestri
25.	fabbricanti d'utensili	17 maestri
26.	cambiavalute	17 maestri
27.	sellai	17 maestri
28.	orefici	16 maestri
29.	carpentieri	16 maestri
30.	fabbricanti di recipienti metallici	15 maestri
31.	fabbricanti di vasi metallici	14 maestri
32.	corazzai	12 maestri
33.	tessitori di nastri	12 maestri
34.	guantai	12 maestri
35.	borsai	12 maestri
36.	vetrai	11 maestri
37.	vasai	11 maestri
38.	stipettai	10 maestri
39.	cimatori	10 maestri
40.	cordai	10 maestri
41.	laminatori, bottonai, arrotini	9 maestri
42.	scalpellini	9 maestri
43.	calderai	8 maestri
44.	lamaioli	8 maestri
45.	spadari	7 maestri
46.	fabbri di elmi	6 maestri
47.	chiodaiuoli	6 maestri
48.	pittori	6 maestri
49.	padellai	5 maestri
50.	fabbri di maglie d'acciaio	4 maestri [59].

Il florido artigianato del tardo Medioevo maturò una serie di significative scoperte, anche se a volte la rigida divisione delle corporazioni poteva essere di ostacolo al progresso tecnico. Cosí il tornio, che nella sua forma piú semplice risale addirittura all'età del bronzo, ricevette la sua forma piú appropriata a partire dal XIV secolo (tav. IX, a; fig. 27). Anche se l'azionamento del tornio a pedale comparve soltanto nel 1500 con Leonardo da Vinci, tuttavia il XV secolo conosceva già questo meccanismo per l'azionamento delle mole da affilare. La tecnica dei metalli, altamente svilup-

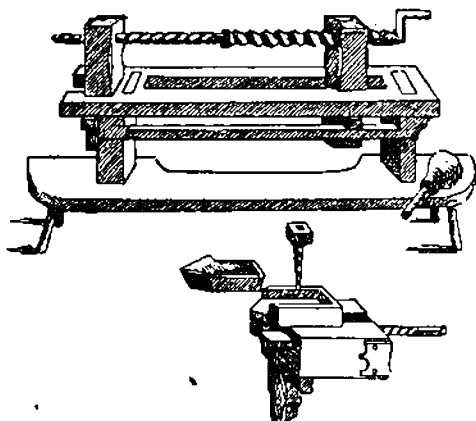



Fig. 27. *Tornio per filettare* (sopra). *Portautensile con avanzamento a vite* (sotto).

pata nel tardo Medioevo, condusse, in un'epoca di crescenti esigenze culturali della borghesia, all'invenzione della stampa a caratteri mobili. L'impresa di Gutenberg poggiava su basi sia tecniche che artistiche. La sua grande conquista tecnica consisteva nella scoperta di uno strumento per fondere i caratteri, di giusta grandezza, nella quantità desiderata. Come forma per le lettere si impiegava però una matrice di rame, nella quale veniva impressa la lettera mediante un punzone d'acciaio a rilievo: venivano cosí a confluire parecchie tecniche della lavorazione dei metalli, e, come acutamente osservò Franz Schnabel, poteva giungere al successo in questo campo, soltanto un uomo di attitudini costruttive, come il patrizio Gutenberg, espertissimo nelle varie tecniche di lavorazione dei metalli, al disopra delle suddivisioni dei singoli gruppi artigianali, e con una chiara visione delle esigenze del proprio tempo e delle epoche future, poté ottenere il successo in questo campo. Ma accanto alla conquista tecnica di Gutenberg sta anche quella artistica, in quanto egli seppe magistralmente adattare alle esigenze della tecnica dei metalli la forma delle lettere. Si introdussero allora infatti, in luogo delle lettere scritte, quelle intagliate nel metallo, ed il nuovo materiale esigeva una nuova forma. Una premessa necessaria per un ampio sviluppo dell'arte della stampa era costituita, oltre che dalla necessità che l'epoca fosse spiritualmente matura per servirsi del libro come mezzo di diffusione della cultura, anche dal fatto che si potesse disporre di un appropriato materiale per la stampa, che fosse meno costoso della pergamena. Qui venne in aiuto la carta, scoperta nell'Estremo Oriente fin dal 105 d.C., già conosciuta in Occidente attraverso gli arabi e prodotta anche in Europa fin dal XIII secolo. Ma anche in questo caso la premessa materiale per un incremento della produzione della carta va ricercata nel maggior consumo di tela di lino, collegato all'aumento delle esigenze materiali della fiorente borghesia della città.

Nella sua continua spinta verso nuovi sviluppi tecnici, l'Occidente riuscí a fare, fra il 1320 e il 1330, un'ulteriore scoperta, straordinariamente ricca di conseguenze: quello del cannone, che utilizzava la forza di propulsione della polvere da sparo, e che provocò nei secoli seguenti una vera rivoluzione nei metodi di offesa e di difesa. Soprattutto la guerra ricevette, con lo sviluppo dell'indipendenza delle città e con il formarsi degli stati,

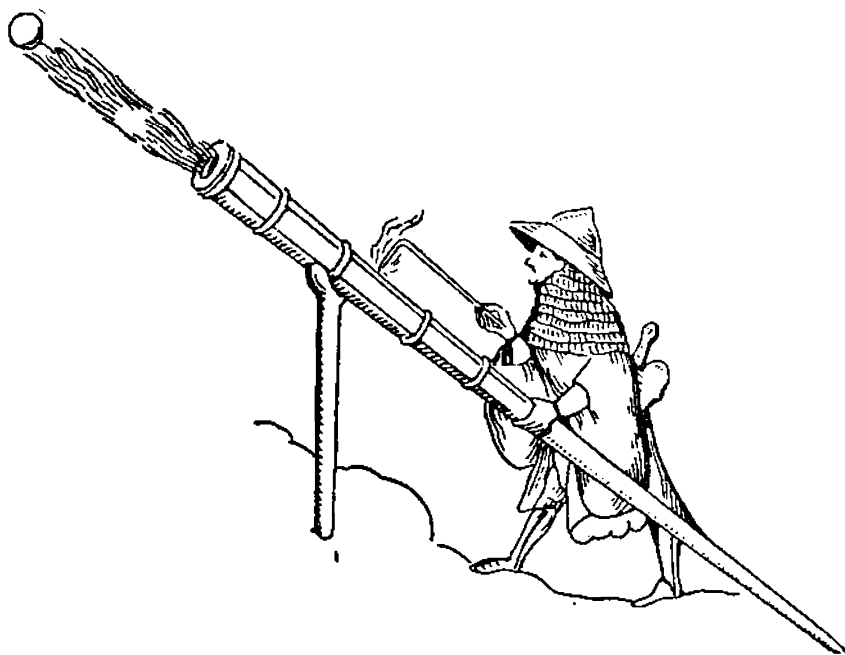



Fig. 28. *Archibugio medievale a piombo.* Anno 1405.

uno sviluppo multilaterale che formò argomento nel XV secolo di molte opere di tecnica bellica dovute principalmente a italiani e tedeschi. Su tutti emerge in questo campo il tecnico di guerra tedesco Konrad Kyeser, da Eichstätt, in Franconia, il quale compí nel 1405 una grande opera illustrata sulla tecnica di guerra che ebbe grande influenza sulle epoche posteriori. Il Kyeser tratta di carri da battaglia, di artiglierie e polvere da sparo, di macchine per assedio, di apparecchi di sollevamento, di pompe e tubazioni per acqua, di pontoni e cinture di salvataggio, di palloni ad aria calda e di molti altri argomenti connessi con la guerra e l'impiego del fuoco (figg. 28, 29). Nella dedica a Ruprecht del Palatinato ed ai principi e nobili tutti della cristianità è detto:

Vanti pure l'India le sue pietre preziose, l'Arabia il suo oro, l'Ungheria i suoi veloci destrieri, l'Italia la sua astuzia, l'Inghilterra la sua ricchezza, la Francia la sua distinzione e gentilezza; la Germania potrà sempre veramente gloriarsi dei suoi decisi, forti e valorosi sol-

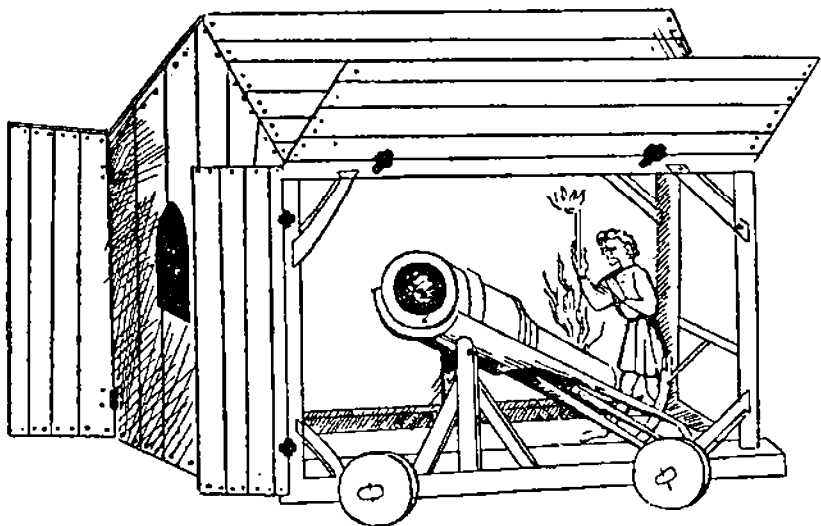



Fig. 29. *Archibugio medievale a pietra* con costruzione protettiva; accensione mediante ferro ad uncino rovente. Anno 1405.

dati. Come il Cielo s'adorna di stelle, così la Germania risplende per le sue arti libere, viene onorata per le sue conoscenze meccaniche e si distingue per molti mestieri, di cui noi giustamente andiamo fieri. Inoltre il nostro esercito è divenuto glorioso per tutto il mondo. Poiché

quando l'insorgere di molte nazioni attrasse su di sé gli sguardi, turbò l'ordine delle leggi e trasse fuor d'equilibrio la bilancia del diritto, noi tedeschi non ci movemmo. Noi infatti non soffriamo di quelle debolezze spirituali, per cui non ci facciamo sviare dalla strada della verità piú che non ci lasciamo ingannare dalla falsità... [60]

L'iscrizione tombale di Kyeser, da lui stesso composta, testimonia della instabile ed errabonda vita del tecnico di guerra medioevale.

Conta seimila e seicento anni da quando Adamo fu formato,
da quando il mondo fu creato;
da quando divenne uomo l'immacolato Santissimo fra tutti i Santi
era il millequattrocentesimo anno;
allora morí lungi da casa Conradus Kyeser von Eichstätt,
uomo gentile nel tratto, generoso, dolce di compagnia;
buon parlatore egli era, perseverante nell'agire,
cortigiano ben visto in molti palazzi di principi,
conosciuto come persona colta e diligente:
a lui era affezionato Wenzel di Boemia, il re romano,
e cosí Sigismondo, che ancora regge lo scettro in Ungheria,
il gran duca di Lusazia, di nome Giovanni,
Stefano del Banato, il vecchio, e il duca d'Austria
Guglielmo Alberto, il vecchio, con il giovane Alberto;
inoltre il signore di Oppeln, detto duca Giovanni;
e lo aveva pur caro Francesco signore di Carrara e di Padova;
ai massimi onori l'innalzò la splendida corte di Puglia
e dell'isola di Sicilia. I campi silenziosi di Polonia sanno di lui
e cosí la terra di Campania, che giace attorno a Capua,
come pure Milano, Toscana e Lombardia,
Danimarca, Norvegia, Svezia, la fiorente Franconia,
e Francia e Borgogna e Spagna e Valacchia.
La Russia lo conosce, la Lituania, la Moravia e Meissen,
l'intera terra di Carnia, la Stiria e la grande Carinzia,
quelli di Svendborg e di Stettino. Piangete su di lui, voi cittadini di [Eichstätt!
I principi di Sassonia lo avevan caro, e i duchi di Slesia,
lui, il celebre; la sua gloria risplende sopra ogni cosa,
poiché egli come Bellifortis vinse interi eserciti,
come nessun altro padroneggiò con la sua esperienza l'arte della guerra.
Ora la orribile Morte, tremenda ed orribile,

lo ha fatto precipitare con rabbia. Cosí egli a forza è tenuto
lontano dalla sua patria, chiuso entro la profonda bara.
Piangete su di lui, o principi, piangete nobili signori! Piangete, voi
[poveri!
Siate dolenti per lui, o animali con le ali o con tre o quattro zampe,
e tutto quanto si regge su due gambe, ed anche i vermi brulicanti!
O cose tutte create, dotate di vita od inerti,
ed anche ogni spirito, sia vivo o defunto,
visibile od invisibile, colpevole o salvato,
creature tutte di Dio, sul nascere, nel crescere o compiute,
piene siate tutte di mestizia e di sentito compianto!
Preghi ciascuno che ha fede, che Dio lo riceva in cielo!
Tu, agnello pasquale, abbi pietà di lui, Gesú!
Tu hai pure portato i peccati del mondo: donagli anche la tua mise-
[ricordia,
concedigli la vita eterna nel regno celeste!
O spirito supremo, rispondi a queste suppliche un misericordioso
[Amen! [61]

La produzione e l'impiego delle artiglierie a polvere richiedevano lo svolgimento di alcune attività artigianali come la fusione, la forgiatura, il lavoro del carpentiere e del falegname e la preparazione della polvere da sparo. Nacque allora una nuova professione, che comprendeva tutte queste attività, e che fu quella cosidetta del mastro archibugiere. Questi artigiani erano tenuti nella massima considerazione dai principi e dalle città. Da un mastro archibugiere di Francoforte, verso la fine del XIV secolo, Merckln Gast, veniamo a conoscere qualcuna delle sue realizzazioni.

Merckln Gast, l'archibugiere, sa fare quanto qui è detto.
Primo, scomporre la polvere rovinata nelle sue materie prime, che ri-
[diventi buona;
item dividere e raffinare salnitro e sale;
item fare la polvere che duri sessant'anni;
item ei sa sparare con grandi e piccoli archibugi;
item sa fare archibugi a mano ed altri archibugi di ferro fuso. [62]

Sentiamo parlare qui per la prima volta di ferro fuso. La fusione del ferro è una delle maggiori conquiste del Medioevo: apparve in Renania all'inizio del XIV secolo. La premessa necessaria era costituita dalla miglior utilizzazione dell'energia idraulica, nei confronti del primo e dell'alto Me-

dioevo, per l'azionamento dei grandi mantici che potevano consentire di raggiungere le temperature necessarie per fondere il ferro. Solo nella seconda metà del XV secolo si colava direttamente dal forno di fusione. L'altoforno per il ferro cominciò a svilupparsi lentamente a partire dal XIV secolo; ma solo nel XVI secolo si può cominciare a parlare di altiforni

Fig. 30. *Archibugi portatili*. XV secolo.

veri e propri. Nei primi tempi però l'introduzione dell'altoforno non fu in immediata relazione con la scoperta della fusione del ferro.

Alcuni dei mastri archibugieri di cui abbiamo parlato lasciarono traccia scritta delle loro esperienze tecniche. Si conservano ancora molti disegni e libri sugli archibugi e sulle artiglierie, si avvicinano alle opere illustrate del tipo di quella del Kyeser. Grande influenza esercitò soprattutto un libro tedesco sulle artiglierie comparso verso il 1420, che fu molte volte trascritto e, dopo il XVI secolo, anche stampato. Tratta in pratica di ciò che un mastro archibugiere deve conoscere, e soprattutto delle doti che deve possedere: a contatto con diabolici mezzi di distruzione quali la polvere ed i cannoni, dice l'ignoto autore medievale, il mastro archibugiere deve essere costantemente conscio della propria responsabilità ed aver sempre Dio davanti agli occhi (tav. X).

Fig. 31. *Fucina con maglio azionato da ruola idraulica* (martello a coda, albero a camme).

A quei principi, conti, signori, cavalieri, vassalli, o a quelle città che si preoccupano, quando vengono assediati dai loro nemici o assaliti nei castelli, nelle fortezze o nelle città, a quelli fa soprattutto bisogno di aver servi che sian gente fedele e sicura, che sappiano osare ed opporre al nemico il loro corpo, la loro vita, i loro beni e quanto mai Dio ha loro concesso, piuttosto che imprecare, che meglio sareb-

be restare indietro, piuttosto che cedere e abbandonare ciò che va invece difeso, e che abbiano in onta tutte le azioni malvage e pusillanimi, che siano saggi, cosí da sapersi aiutare nel bisogno con le armi da lancio e da sparo e gli assalti, e da sapersi premunire costruendo baluardi e bastioni... e che sappiano con la miglior abilità rivolgersi con le armi contro al nemico e soprattutto non si diano, con gran vantaggio di questo, a litigiose contese davanti ai castelli, nei quali sono assediati, ma senza discordie e contrasti rimangano tra loro solidali in amicizia, sbrigando fra loro le loro questioni con saggio consiglio. E qual mai principe, conte, signore, cavaliere, vassallo o città disporrà di tali fedeli sicuri e saggi servi, potrà ben in loro confidare. Ma dovrà egli anche tener presso di sé gente che voglia e sappia lavorare, come fabbri, muratori, carpentieri, calzolai ed anche mastri archibugieri e artificieri. E se è pur vero che grande aiuto si trae da buoni mastri archibugieri, cosí è pur di bisogno a principi, conti, signori, cavalieri, vassalli e città e a tutti coloro che hanno dei mastri archibugieri, che i loro mastri buoni mastri siano, e ben sappiano fare e preparare le acque, gli oli e le polveri che son della loro arte; e le altre parti degli archibugi, delle frecce infuocate, delle sfere di fuoco, delle bombarde e di quanto altro con che si possa quindi combattere il nemico ed infliggergli danno, come sta nel seguito di questo libro descritto: come essi si possan dal principio alla fine bene costruire e formare. Ed imperocché molte sono le parti di questo genere che ogni buon mastro archibugiere deve conoscere e che tuttavia senza scrittura alcuna non può nella mente ritenere, cosí sta qui appresso descritto, quanto a tal uopo è necessario e giovevole...

Qui sta scritto, quale pratica e qualità debba qualunque uomo possedere, che voglia riuscire un buon mastro archibugiere, e anche quali cose ei debba sapere dell'arte. Queste parti convengono a ciascun mastro archibugiere, che deve di tali cose esser dotato. In primo ei deve onorare il Signore ed averlo prima d'ogni altra cosa davanti agli occhi, piú che altra gente che vada errando. Ché quand'egli lavora con la polvere o con l'archibugio, egli ha fra le mani il grande ed il piú grande nemico [il Diavolo]. E quindi deve tre volte esser cauto.

Ei deve pure portarsi con modestia nei riguardi della gente con cui tratta, essere onesto e non pusillanime. Ed in guerra deve essere di grande aiuto, poiché da tale gente si deve prender conforto.

Il mastro deve anche saper leggere e scrivere, poi che altrimenti non saprebbe pensare e ritenere in mente tutte le parti che in quest'arte gli occorrono e che sono spiegate in questo libro: si tratti del se-

parare, e cioè dividere, del sublimare, e cioè filtrare, del confortare, e cioè concentrare, e di molte altre cose a ciò attinenti, si tratti di fuochi naturali o di quelli artificiali. Epperò deve un mastro conoscere la scrittura, se vuole essere un buon mastro. Anche deve saper ordinare terrapieni e mura per arieti, per testuggini, per màngani, come sono elencati in questo libro, e per quanto loro appartiene, dal principio alla fine. Ei deve pure sapere in precedenza di tre cose: del peso, della dramma e delle misure. Deve mostrarsi rispettabile e gentile nel parlare e nel fare e deve in tutto ben riflettere e particolarmente in ogni momento guardarsi dall'ubriachezza...

Un'arte certa e giusta, fare la polvere da sparo nel modo giusto e dovuto. Devi prendere una buona bilancia e mettere su ciascun piatto una stessa quantità di salnitro, ben purificato, sí da aver l'equilibrio; e prendi quindi una parte del salnitro dalla bilancia e ponila da parte, e contro al salnitro rimasto poni un ugual peso di zolfo, pure fresco e di buona qualità. E quando ciò sarà fatto, riponi il salnitro e prendi la restante quantità di zolfo e dividila in pesi uguali. E quando ciò sarà fatto, riponi una parte dello zolfo e lascia l'altra. E quando ciò sarà fatto, aggiungi alla restante parte di zolfo un ugual peso di carbone d'abete o di tiglio, che non sia troppo duro e che non sia stato spento con acqua. E quando anche ciò sarà fatto, riponi la parte di carbone e la restante parte di zolfo l'una contro l'altra, ciascun peso essendo [pari a] quello del sopraddetto carbone. Quando ciò sarà fatto, prendi le suddette parti, il salnitro, lo zolfo ed il carbone, e mescolale fra loro, quanto meglio sai e puoi fare. E quando sarà mescolato, pestalo molto bene, e quanto piú lo pesti e quanto piú la polvere si fa fina, tanto piú rapida e potente sarà la polvere [che ne ottieni] e tanto piú presto brucerà quando sarà accesa.

E secca poi bene la polvere in una buona coppa in un luogo caldo, e particolarmente riguàrdati da fuoco, e non far ciò troppo presso il braciere, ché anche il calore come il fuoco può accenderla. Cosí tu hai una certa quantità e il modo come devi pesar le sostanze, e comincia di nuovo a pesare altre sostanze e fa come prima. Osserva bene queste regole, che esse son le migliori e le piú sicure che ci siano in tale arte. E se di una sostanza ve n'è di piú che non ce ne debba essere per queste regole, avrai compiuto il lavoro affatto inutilmente ed anche avrai rovinato sostanze. E chi comprende queste regole, a quello sono sufficienti...

Si deve sapere, come è successo, che molti pii principi, signori, cavalieri, vassalli e città sono stati spesso in ogni tempo assaliti e asse-

diati, per abbatterli, e che essi non avevano prima saputo darsi cura di provvedere a ciò e non avevan con sé gente che potesse a loro essere di aiuto e di consiglio con la sapienza dell'arte, per opporsi al nemico e fermarlo. Ed anche spesso visibilmente è successo che molti pii principi, conti, signori, cavalieri e servi hanno severamente pagato [ciò] e sono pervenuti a rovina, e la eletta nobiltà che era stata posta a servizio e difesa del Sacro Romano Impero, e da Dio stesso [a tal fine] nobilitata, è stata in simile guisa abbassata e diminuita.

Perciò consiglia il fidato consigliere di tutti i principi, conti, cavalieri, vassalli e città, e tutti che abbiano castelli, fortezze e città, che si premuniscano e si provvedano di tale gente, come detto prima in questo libro, e di viveri e di sostanze, sí da esserne poi ricchi, particolarmente di quelle cose che appartengono a quanto sopra descritto: di salnitro, zolfo e buon legno da far carbone, e di baluardi e bastioni, di mercurio, di vino distillato, di canfora, di arsenico, di sale d'ammonio e di olii e di altri generi, quanti sono utili e convenienti per la polvere ed il fuoco. E che essi riflettano al detto: "Chi si fa cogliere senza difesa, basta ad abbatterlo debole offesa," ed inoltre quando i nemici che abbiano assediato uno, si fidano a mantenere il campo, per i primi successi, pervengono poi a vincerlo. Se invece uno si sarà provveduto con le cose sopraddette, anche se poi un suo nemico lo assale, si può ben egli difendere, finché abbia gente abile, fino a quando non sia sopraffatto o fino a quando il suo nemico non possa essere respinto dagli assediati con scontri vittoriosi.

Inoltre: nel seguente capitolo sta scritto come, quando [il nemico] si sia tanto avvicinato alle mura della fortezza o della città di uno e le voglia aggredire con arieti o testuggini e scale, egli possa difendere sé dall'assalto, e tenere il castello o la città, e respingere il nemico.

Se ti capita di essere in una fortezza o in una città, e ti vengono assalite le mura con testuggini e arieti, come puoi vedere dalle figure di questo libro, e si assalgono le mura con scale o si fa breccia in esse, e tu dal di dentro non sai dove da fuori si faccia breccia, prendi allora una balista e va nell'interno delle mura da una pietra ad un'altra e dove la balista tira, apri una breccia nel muro verso i nemici, e vedi di avere un buon archibugio che sia ben caricato e spara con esso all'esterno attraverso la breccia nelle mura. Prendi però prima trenta libbre di resina, dieci libbre di zolfo, sei libbre di carbone, sciogli la resina e pesta il salnitro, lo zolfo ed il carbone e impasta tutto nella resina, che è tenera, e forma palle grosse come mele, e accendile. Gettale secondo il tiro sui nemici che stanno all'esterno del muro, cosí le

palle bruciano e producono tanta polvere e fumo e bruciano tanto a lungo che il nemico non ti può far offesa, prima che tu non abbia caricato [di nuovo] l'archibugio.

Cosí può ciascuno difendersi da arieti e testuggini e tener libero il suo castello e la sua città da ogni attacco. Osserva [ciò] con attenzione e difenditi con simili cose, come ha prima insegnato questo libro, e potrai fermare i tuoi nemici. Imperocché molte fortezze sono state perdute e molte persone che erano in esse sono state catturate perché non [ne] avevano a sufficienza per attendere quando li si sarebbe salvati o [essi stessi] avrebbero ricacciato il nemico con scontri vittoriosi. E pertanto bisogna essere in ciò previdenti. [63]

Parte terza

Il Rinascimento

Introduzione

La borghesia delle città del tardo Medioevo aveva acquistato potenza e coscienza di sé grazie ad un'attività artigianale e commerciale ricca di successi. Il privilegio della proprietà, caratteristico del potere feudale medievale, fu gradualmente spezzato dalla pressione della borghesia in ascesa. Nella coscienza della propria autosufficienza, questa nuova borghesia cercava di rompere i vincoli che il Medioevo le aveva imposto: il Medioevo aveva riunito fede, pensiero e azione degli uomini nella forma chiusa di un'unità definita in senso ecclesiastico-religioso; ora l'uomo cominciava a sentir maggiormente la propria individualità, si affacciava ora libero da preconcetti davanti alla varia molteplicità delle cose ed al gioco che ne risultava, tendeva sempre piú a fare del mondo il campo di attività del proprio spirito, resosi indipendente. Proprio per effetto di questo forte senso delle cose del mondo ebbe modo anche di risorgere la cultura classica. Si voleva creare qualcosa di nuovo, al di là della tradizione, e per questo rinnovamento si rivolgeva lo sguardo indietro, all'antichità classica, intesa soprattutto come origine della civiltà. La premessa a questo nuovo orientamento, a questa rinascita dell'antichità, era data dallo studio diligente delle lingue classiche e dalla ricerca di nuove fonti da cui trarre le antiche opere letterarie. Gli sforzi umanistici di quest'epoca si indirizzarono anche alla letteratura tecnica dell'antichità cercando di restituirle valore, e nello stesso tempo, riallacciandosi alla scienza classica, ci si dedicava attivamente al raggiungimento di nuove conquiste.

L'attività tecnica ricevette particolare impulso, nel Rinascimento, dal piú intenso volgersi alla vita attiva e dal desiderio, che crebbe in alcuni artigiani lungimiranti, di dar una base scientifica e un inquadramento spirituale alla loro attività artigiana, che sinora era stata condotta su un piano del tutto empirico. Questa tendenza è testimoniata da molte opere in volgare, che offrivano nozioni scientifiche e tecniche, derivate particolarmente dall'antichità classica, "a mastri artigiani, scalpellini, mastri costruttori, dipintori, scultori, orefici, ... a loro grande vantaggio."[1]

Il passaggio dal Medioevo alla modernità, cioè al Rinascimento, risulta oggi poco chiaro. Soprattutto è difficile riportare ad uno schema unitario il Rinascimento, che fu un'epoca estremamente eterogenea, come ha sufficientemente indicato Huizinga.[3] Anche la storia delle scienze naturali deve riconoscere che la scienza medievale del XIV secolo rivelava sotto molti aspetti caratteristiche moderne, mentre d'altra parte la fisica rinascimentale conservava in alcuni tratti caratteri fortemente medievali: con qualche limitazione, ciò vale anche per la tecnica, e quando parleremo della tecnica del Rinascimento sarà opportuno ricordare questa osservazione.

Hendrik Met de Bles, detto il Civetta. *Miniere di rame*. XV secolo.

Tecnici d'arte e mastri sperimentatori

Soltanto nell'Italia del XV secolo per la prima volta la vita attiva si unisce a una concezione scientifica, sia pure ancora modesta. Gli uomini che reggevano in quell'epoca le sorti dell'attività tecnica creatrice erano al tempo stesso artisti ed empirici. Filippo Brunelleschi, una delle grandi personalità multiformi del Quattrocento, era versato nell'arte dell'oreficeria, nella scultura, nell'architettura, nella prospettiva, nella dottrina delle proporzioni, nella costruzione delle fortezze, nelle costruzioni idrauliche, nella meccanica e nella costruzione di strumenti vari; amico di matematici, i suoi studi sulla prospettiva si ricollegavano ad Euclide e a Vitellio. La costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore in Firenze, nel 1420-1436, a lui dovuta, fu anzitutto un'impresa tecnica.

Fra le personalità piú multiformi domina "l'universale," come ebbe a definirlo il Burckhardt, Leon Battista Alberti. L'Alberti era uno scienziato, non un artigiano come il Brunelleschi, Francesco di Giorgio Martini o Leonardo da Vinci; ma tutti i suoi sforzi tendevano all'unificazione della tradizione scientifica con l'esperienza pratica. Egli stesso univa la creazione scientifica a una personale attività pratica, particolarmente come architetto. In una dotta opera scritta nel 1451-52, sull'arte dell'architettura (*De re aedificatoria*) trattò l'intero campo delle costruzioni, ricollegandosi a Vitruvio, ma sforzandosi di superarlo: l'Alberti ci dà una teoria della costruzione delle cupole che manca in Vitruvio e che proprio nel Rinascimento assurse a particolare importanza. Nella costruzione di ponti viene data una semplice formulazione matematica di alcune norme empiriche relative alle arcate. Dovunque è evidente nell'Alberti lo sforzo di compenetrare scientificamente l'attività tecnica pratica. Riportiamo qui alcuni passi significativi dalla sua opera *De re aedificatoria.*

Chi è l'architetto. Chiamo architetto colui che ha appreso con certa e maravigliosa ragione e regola nella mente e nell'animo a divisare ed anche nei fatti ad eseguire tutte quelle cose che mediante movimen-

to di carichi, congiungimento e unione di corpi meglio si possono adattare all'uso degli uomini; e per poter far ciò, bisogna ch'ei conosca e padroneggi cose ottime ed eccellenti. Tale sarà un architetto.

A che nominerò i carri, i mulini e simili minuterie, che sono tuttavia cosí importanti per la vita? A che le masse d'acqua che dai piú riposti e segreti luoghi della terra si cavano per adoperarle nei piú diversi e svariati usi? A che i trofei, i tabernacoli, i templi, le chiese e tutto quanto serve per il culto di Dio e per la fama presso i posteri? A che finalmente dirò che con l'asporto di rocce, il traforo di monti, il riempimento di valli, il prosciugamento di paludi mediante deviazione delle acque in un lago o nel mare, la costruzione di navi, la regolazione di fiumi, l'apertura di nuove vie, la costruzione di ponti e di porti, egli non solo provvide ai bisogni momentanei degli uomini, ma aprí pure le strade per tutti i paesi della terra? Da ciò proviene che gli uomini con mutui traffici si sono scambiati i frutti della terra, le spezie, le pietre preziose, le notizie e le cognizioni delle cose e tutto quanto è utile alla salute e al modo della vita. A ciò aggiungi le artiglierie, le macchine da guerra, le fortezze e quanto attiene alla difesa e all'incremento della patria, della libertà, della proprietà e della dignità della borghesia, nonché ad assicurare ed estendere l'imperio. E dico che se si chiedesse da chi son state vinte e soggiogate tutte quelle città che a memoria dell'uomo dopo un assedio sono cadute sotto straniera potestà, tu non potresti mentire e risponderesti: dagli architetti. Ché disprezzare il nemico armato è facile cosa ma non cosí il durare a lungo contro la potenza dell'ingegno, la forza dei mezzi bellici, l'impeto delle artiglierie, con le quali cose l'architetto sa stringere, assaltare e rovinare. E per converso non mai succede che gli assediati si siano mantenuti sicuri con cose diverse dall'aiuto e dall'arte dell'architetto.

E se tu esaminerai le spedizioni effettuate, troverai forse che sono state ottenute piú vittorie con l'arte e l'abilità che con il comando e la guida di un condottiero e che piú spesso è stato il nemico superato grazie all'ingegno ed agli strumenti del primo che non per la spada del secondo priva del consiglio di quello. E ciò che piú grandemente importa, l'architetto vince con esigua schiera e senza pericolo per i soldati. E tanto basti per quanto riguarda l'utilità. [64]

I modi delle volte. Vari sono i modi delle volte. Esamineremo qui in quanto esse differiscano l'una dall'altra e di che linee siano esse formate. Dovrò qui dare nuove definizioni, per farmi comprendere e non riuscire in alcun modo oscuro, cose di cui già mi son dato gran pena in questi libri.

Non mi sfugge che il poeta Ennio chiamò "a botte" l'ampia volta del cielo e che Servio disse volte acute quelle che son fatte come le carene delle navi. Ma io chiedo licenza che in questi libri si tenga per buon latino solo quello che ben conviene alla cosa e che pure è chiaramente compreso.

I modi delle volte sono questi a botte, a crociera ed a cupola sferica, e cosí le singole parti delle stesse. Di queste, la cupola sferica non si pone, per sua natura, se non sopra mura che s'alzino in cerchio sopra la pianta. La volta a crociera per contro abbisogna di una pianta quadrata. La volta a botte invece di una pianta a quattro angoli retti, che può esser piú lunga o piú corta, come vediamo nei portici sotterranei.

Quella volta che sarà simile al traforo di un monte, la si dirà pure a botte, per la simiglianza delle parole. Essa sarà fatta come se tu accostassi in fila un arco dopo l'altro o come se tu allargassi di molto od estendessi la larghezza d'una trave inflessa ad arco. Da ciò otteniamo come una specie di parete curva posta come tetto sul nostro capo.

Se però una volta a botte, che sia disposta da settentrione a mezzogiorno, è compenetrata nel senso trasversale da un'altra volta a botte che si estenda con tutte le sue linee da oriente a occidente, si ottiene una volta che, per la simiglianza delle sue ali rivolte al basso e che conducono ai quattro angoli, chiamerò volta a crociera.

Se invece piú archi uguali da parti opposte si tagliano in un punto comune della loro chiave centrale, si forma allora una volta simile a quella del cielo, che mi sembra conveniente definire cupola sferica.

Le volte che son formate da certe parti di quelle, sono le seguenti.

Se infatti la Natura avesse suddiviso la emisfera celeste in due parti con una sezione piana e verticale, che andasse da oriente a occidente, ci sarebbero due volte uguali, che formerebbero il tetto di due nicchie semicircolari. Se invece la Natura avesse limitato e tagliato l'emisfera celeste in egual modo dall'oriente al mezzodí, e quindi dal mezzodí all'occidente, e da questo al settentrione e da questo nuovamente all'oriente, sarebbe cosí restata nel mezzo una volta che per la simiglianza con una vela gonfiata dal vento chiamo a baldacchino (volta a vela, a calotta).

Si possono anche adoperare piú parti di una volta a botte, come vediamo nelle volte a spigoli con sei o otto superfici, che vengono chiamate volte sferiche a spigoli (volte a padiglione).

Per la costruzione delle volte vale la stessa regola che per i muri. Poiché le coste si elevano immediatamente sopra le coste dei muri senza interruzione fino alla chiave della volta e vengono impostate su di

essi e costruite a seconda della loro misura, e distano di una certa parte. Da l'una costa all'altra si portano tuttavia collegamenti; e fra di essi vengono posti nel mezzo i riempimenti. Ma dai muri si distinguono per tanto che in questi le pietre ed i singoli conci si dispongono e si murano con la riga, la squadra e la livella, mentre nelle volte i conci vengono orientati con la riga curva e tutte le connessioni delle pietre dirette al punto di mezzo dal loro arco. Le coste eran dagli antichi eseguite quasi sempre soltanto con mattoni cotti, e per lo piú di un paio di piedi di grandezza; i riempimenti facevano essi invece di pietre molto leggere, al fine che un carico troppo pesante non sollecitasse i muri. Tuttavia ho osservato che alcuni solevano eseguire le coste non sempre ben limitate, ma qua e là inserivano di fianco dei mattoni ritti, l'un l'altro a pettine connessi, sí come quando le dita della mano destra s'intrecciano con quelle della mancina. Gli spazi restanti solevano essi riempire con calcestruzzo e soprattutto con pomice, che da tutti è ritenuta la pietra piú d'ogni altra adatta per la costruzione di volte.

Per la costruzione degli archi e delle volte è però necessaria un'armatura. È questa una costruzione rozza e provvisoria, il cui contorno è racchiuso da una linea curva, sulla quale come ricoprimento e tessuto si stendono graticci o canne o analoghe cose di poco prezzo, per portare la volta che vien sopra costruita, fintantoché essa non sia divenuta stabile.

Havvi tuttavia fra le volte una, e precisamente la volta a cupola, che non abbisogna di armatura, poiché essa non consiste di soli archi ma anche di corone.

E chi potrebbe descrivere e divisare quale importanza abbia ciascheduno di questi innumerevoli archi, l'uno all'altro connesso e dipendente, e che da opposte parti in angoli uguali o diversi si diparte, se tu ben riconosci di porre un cuneo come corona di molti archi, quando in un qualche punto della volta inserisci una pietra, e che tu (ben riconosci) che chi esegue una corona di muratura, ne inizia al tempo stesso una nuova, e chi fa uno degli archi, ne fa insieme un secondo? Immagina che questa struttura si voglia mettere ad oscillare, donde comincerebbe essa, che tutti i suoi cunei con uguali forze e inclinazioni tendono ad un unico punto? Molti tra gli antichi hanno talmente abusato della sicurezza di queste volte, che essi facevan corone di muratura di mattoni per un'altezza di solo un paio di piedi, ed eseguivano la restante parte della volta con calcestruzzo posto del tutto irregolarmente. Ma di piú approvo coloro che durante la costruzione han cura

di collegare tra loro in parecchi punti, nello stesso modo come vengono connesse le pietre nei muri, anche le corone inferiori con le seguenti corone sovrapposte e gli archi con gli archi; specie quando non è disponibile in quantità sufficiente sabbia di cava o quando la costruzione è esposta ai venti del mare o di scirocco.

Anche la cupola a quattro spigoli puoi senza armatura costruirla, se appena ne fai lo spessore come quello di una cupola emisferica. Qui è però d'uopo anzitutto una connessione che leghi nel modo piú rigido le ultime parti piú sottili con le prime piú spesse. Tuttavia sarà bene, quando già avrai fatto l'una e l'altra corona di pietre, e saranno divenute stabili, che si dispongano di sotto cinghie con attacchi, sulle quali farai un'armatura sufficiente per portare le corone che per qualche piede di altezza su di quelle verran poste, fin quando non siano asciugate e quindi, quando quelle si sian fatte solide, spostare piú in alto quest'armatura, come sostegno dei nuovi conci da eseguire, fino a quando tutta la volta non sia compiuta.

La volta a crociera e quella a botte possono solo venir fatte sopra ad una armatura. Vorrei però che i primi lor conci e le imposte degli archi poggiassero su sostegni ben saldi. Non mi piacciono quelli che prima innalzano i muri tutt'interi e lascian fuori solo i piedi sporgenti dei muri, sui quali dopo molto tempo impostan la volta, un metodo poco sicuro e poco stabile di far volte. Epperò, se mi si ascolta, si eseguiranno insieme, perché la muratura resti unita con quanto piú numerosi e saldi congiungimenti possibile. Lo spazio vuoto fra la volta in costruzione ed il muro che resta, che i muratori chiamano anca, non va riempito di terra o di pietre sciolte a secco, ma piuttosto con regolari e durevoli murature, che in piú punti si colleghino al muro. Da approvare son pure coloro che, per diminuire il peso, pongono nello spessore dell'anca vasi vuoti di cotto pieni di fessure e capovolti, acciocché non divengano pesanti per accumularsi d'umidità, e che vi versan quindi una massa di rottami di pietra che non debbono però essere pesanti ma sottili.

Nella costruzione di ogni volta, sia essa come si sia, dovremo infine imitare la Natura, che salda osso con osso e fa correre per tutta la carne le piccole vene, che si dipartiscono in tutte le direzioni, in lunghezza, in larghezza, in profondità e per traverso. Quest'arte della Natura, dico, dobbiamo imitare nel murar pietre per far volte.

Dopo che queste siano compiute, il lavoro che segue è la costruzione di un tetto che le copra, cosa questa precipua nell'intera architettura e tanto difficile quanto necessaria, alla cui costruzione ed ese-

cuzione ci si è sempre applicati con la massima cura e attenzione. Di ciò voglio parlare. Ma prima è bene che inserisca quanto anzitutto attiene alle volte.

C'è infatti una differenza nella costruzione delle volte, ché quando un arco o una volta dev'essere sopra un'armatura costruita, fa d'uopo che essa venga subito murata e senza la minima interruzione. Ciò che per altro si fa senza armatura, richiede invece una interruzione dopo quasi ogni corona di pietre, fino a che la muratura non diventi solida, acciocché la nuova parte sopra a quella murata, se la prima non è ancora a sufficienza robusta, non si stacchi e separi. Ed è inoltre bene, sulle volte costruite con armatura, che là, ove son chiuse dal cuneo piú alto, non venga posto alcun supporto a sostenere l'armatura, e precisamente allo scopo che i cunei di fresco murati non restino sospesi fra la loro sede e la malta di calce, ma che assumano una posizione fra loro parificata. Se ciò succede durante la presa, la muratura non starebbe insieme connessa per mutua compressione, come deve, ma lascerebbe nell'assestarsi delle fessure. Epperò si proceda nella maniera che segue: l'armatura non si deve togliere di colpo, ma gradualmente deve essa giorno per giorno venir rimossa, affinché la muratura ancor fresca non venga dietro, se tu innanzi tempo la allontani. Dopo alcuni giorni però, giusta la grandezza dell'opera, rimuovila ancora un po' e continua cosí fino a che i cunei di pietra non si adattino l'uno all'altro nella volta e la muratura non indurisca.

La maniera di rimuovere l'armatura è la seguente: se tu l'armatura della volta l'hai posta su pali o dove meglio si conviene, inserisci dapprima, là dove l'armatura finisce, delle zeppe di legno, appuntite come ferri d'ascia. Se vuoi ora togliere l'armatura, tu puoi senza pericolo con il martello spinger fuori l'una dall'altra queste zeppe come vuoi. Tuttavia dico che non si deve togliere l'armatura prima che non sia trascorso tutto l'inverno, e precisamente, oltre alle altre ragioni, anche per il motivo che la muratura, indebolita e sciolta dall'umidità della pioggia, non abbia o rovinare. D'altronde non v'è nulla di piú acconcio per le volte, che s'imbevano copiosamente di acqua e non mai si lascino seccare. E basta di ciò. [65]

I ponti di pietra. Ora seguono i ponti di pietra. Le loro parti sono le seguenti: il muro di sostegno della sponda, le pile, la volta e la carreggiata.

Fra il muro di sostegno della sponda e le pile esiste il divario, che quello deve esser dotato di una forza fuor dell'ordinario, non solo per sostenere la volta su esso impostata, ma anche per sopportare e trat-

tenere l'estremità del ponte e la spinta dell'arco, che non abbiano a occorrer fratture. A tal uopo si scelga con cura un luogo adatto sulla ripa o meglio un masso roccioso — questo è il piú sicuro — al quale affidar la fine del ponte. Il numero delle pile dipende dalla larghezza del fiume. Archi in numero dispari si portan bene, e sono anche sicuri per la stabilità; cosí infatti il corso mediano del fiume resta tanto piú libero, quanto piú s'è affrancato dalla stretta delle rive — e quanto piú è libero, tanto piú possente e rapinoso rotola giú. Lo si lasci quindi scorrer, perché non danneggi con il continuo sforzo la solidità delle pile. Queste son quindi da disporre nel fiume là dove le onde piú dolcemente e diciamo pigramente trascorrono. Un segno per ben divisare il posto è dato dalle alluvioni; altrimenti cosí tratteremo la questione. Faremo come quelli che spargono noci nel fiume, che poi gli assediati raccolgono e se ne cibano. Getteremo quindi nel corso incessante del fiume, un millecinquecento passi verso monte, piú acconciamente nel tempo che il fiume si gonfia d'acqua, qualcosa di simile che galleggi. Un segno di ciò sarà che le onde, laddove ciò che abbiam gettato si raccoglie, si precipitano con maggior violenza. Eviteremo quindi nell'impiantare le pile del ponte questi luoghi e quelli sceglieremo nei quali le cose sparse giungono piú raramente e lentamente.

Quando il re Mina decise di costruire un ponte presso a Menfi, egli deviò il Nilo, attraverso i monti, per altra strada e lo lasciò rifluire nel suo letto dopo che l'opra fu compiuta. Nicoris, regina degli Assiri, preparò tutto quanto si conveniva alla costruzione del ponte, scavò un ampio lago e vi condusse il fiume. E mentre il lago si riempiva, costruí nell'asciutto letto del fiume le pile del ponte. Cosí quelli.

Noi però faremo la cosa in questo modo. Le fondazioni delle pile si posson disporre in autunno, quando il livello dell'acqua è basso, e dopo che si è fatta la chiusura. La chiusura vien fatta nel seguente modo: si battono giú dei pali piloti, abbastanza fitti ed in doppia fila, e che la loro testa sporga dall'acqua a formare baluarlo. Di dentro i pali vengono lungo il contorno del baluardo, rivestiti di tralicci e lo spazio fra le pile riempito d'alghe e di fango e pressato, di modo che non entri piú acqua affatto. Non appena entro la chiusura si depositi acqua oppure fango o sabbia o quant'altro è nocivo alla costruzione, esso verrà rimosso. Tutto il resto si fa come ho descritto nel libro precedente. Si scava cioè fino al terreno solido, oppure si rende solido il terreno sottostante con pali aventi la punta inferiore abbruciata e posti quanto piú fitti possibile. Ho visto anche eccellenti architetti che solevan fare per l'ininterrotto corso del ponte una ininterrotta base. Essi però non

l'eseguivano unitariamente, cosí che il fiume venisse trattenuto da un solo baluardo, ma per pezzi, aggiungendo sempre il pezzo nuovo a quello già compiuto. Poiché trattenere e fermare l'intero assalto delle acque è cosa impossibile. Si devono quindi lasciar al fiume degli sbocchi durante la costruzione, con i quali si temperi l'impeto dei flutti. Questi sbocchi puoi fare o nel corpo stesso del guado oppure ponendo in luoghi acconci delle forme di legno e dei canali sospesi, per i quali l'acqua superflua del fiume tracimando si scarichi.

Se non ti garba di fare un siffatto impianto per basamento, dà singole basi alle singole pile, fatte per lungo come brigantini, con parte anteriore e posteriore allungate a punta, e dirette parallelamente all'asse del fiume, che, in prima dividendole, diminuiscono la potenza delle sfrenate acque. Deve essere qui menzionato che piú sono gravi le onde alla parte posteriore che all'anteriore. Ciò si mostra per il fatto che piú l'acqua monta sul dietro che sul davanti. E inoltre là si vedono vortici scavare in profondo, mentre la parte davanti sta su un letto riempito di sabbia. Perché ciò si mantenga, bisogna che queste parti di muratura siano quanto piú è possibile sicure e robuste per sostener l'incessante assalto dell'acqua. È all'uopo di molto vantaggio, se la suola dell'opera si estende in profondità da tutte le parti ed in special modo verso la parte posteriore, per cui ancora molto resti di quanto è necessario a sopportare il peso della pila, se pure una parte della suola si rompa. Sarà anche bene dare a ogni suola nel suo inizio un'inclinazione in avanti in modo che essa non immediatamente s'opponga all'acqua che la dilava, ma che la lasci scorrer indietro piú dolcemente; poiché l'acqua che rapidamente precipiti smuove il fondo, e quindi, ancor piú veemente, dilava il terreno rimosso e scava il luogo in un attimo. Faremo le pile di una pietra che sia quanto piú lunga possibile e che abbia eccezionale larghezza, che non sia corrosa dall'acqua o che non si sciolga facilmente e ceda al sovraimposto peso. E deve venir con tutta cura disposta con la squadra, il piombo e la livella, senza mai interrompere il legamento secondo lunghezza e larghezza con giunti affacciati, lasciando da parte ogni minor rottame di pietra. Si dispongano pure numerose spine e zanche di rame, le cui sedi siano strette e ben distribuite, cosí da non indebolire la pietra con il loro incavo, ma per rinforzarla con la loro stretta. E tutta l'opra, comprese la punta davanti e quella di dietro, va fatta di un'altezza, fino a che la sua cima non sporga di tanto da restar franca anche in caso di grandi inondazioni. Lo spessore delle pile sarà di circa un quarto dell'altezza del ponte (fig. 32). Alcuni fan la parte da-

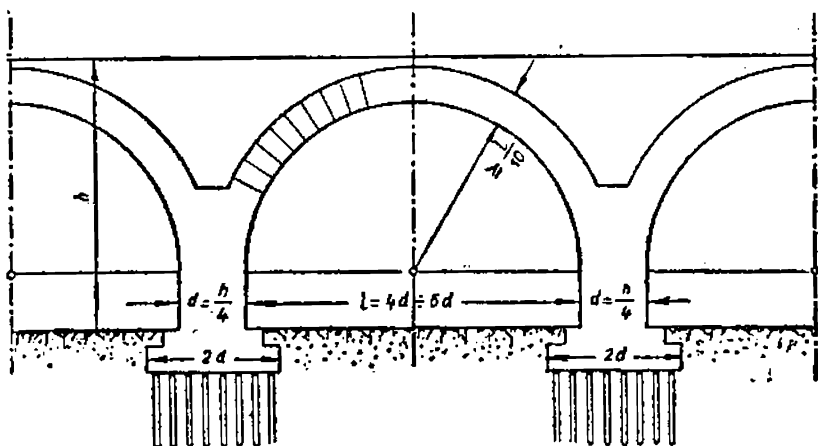



Fig. 32. *Ponte di pietra ad arcate,* secondo l'Alberti. XV secolo.

vanti e quella di dietro non a spigolo, ma a semicerchio, dico per la bellezza della linea. E per quanto abbia detto che il cerchio ha le proprietà di un angolo, tuttavia approvo in tal caso ancora lo spigolo sopra degli altri, soltanto che non sia talmente appuntito che per piccolo urto si rompa e si rovini. Anzi, esso mi piace anche lavorato e scolpito in cerchio, ma che non sia lasciato troppo ottuso e non rigurgiti troppo le veloci onde in arrivo. Come giusto angolo per le pile considero quello che preso una volta e un terzo dà un angolo retto (= 67° 30') o, se quello dovesse piacer meno, quello che ha il retto per sesquagesimale (= 60°). Ciò per le pile.

Il muro d'appoggio della ripa, quando il luogo non è ben acconcio come vorrebbesi, lo faremo rinforzato alla maniera delle pile, e pianteremo altre pile sulle rive all'asciutto ed altri archi, ché anche quando la spinta continua dell'acque, appoggiata dalla tempesta, dilavi la ripa, per questa continuazione del ponte sulla terraferma la strada non venga in guisa alcuna interrotta. Le vôlte a botte e gli archi devono, se non per altre ragioni, per i potenti e continui scotimenti trasmessi dalla carreggiata, essere fatti robusti e forti fuor dell'ordinario. S'aggiunga che devono essere talora trainati sopra il ponte enormi carichi di obelischi o statue o altro e, come occorse a Scauro nel trascinare una pietra di confine, i pubblici imprenditori temono di risarcire il danno.

Epperò deve il ponte nel suo disegno e in tutta la sua costruzione

venir fatto acconcio per una lunghissima durata. E che sian necessarie per un ponte pietre particolarmente grandi ed integre, ce lo insegna la ragione con l'esempio dell'incudine — che se è grossa e per conseguenza anche pesante, bene sopporta i colpi del maglio, ma se è leggera, salta e tentenna sotto i colpi. Ho detto che una vôlta a botte consiste di archi a riempimento e che l'arco è massimamente robusto se è a tutto sesto. Se però un arco a tutto sesto per la sua curvatura non si può proprio portare in armonia con le pile, per la disposizione di queste, si prenderà un arco diminuito, ma si faranno allora per maggior sicurezza assai piú forti i sostegni alle sponde. Ogni arco infine che venga a stare sulla fronte della vôlta, si farà anch'esso assai solido e di gran pietre, non diverso da quello che si fa sopra alle pile. E precisamente negli archi non saranno le pietre piú strette che non sia lo spessore di un decimo della sua corda (fig. 32). Essa corda però non sarà piú lunga di sei volte, e non meno di quattro volte lo spessore delle pile (fig. 32). Per il reciproco rafforzamento dei cunei di pietra si impiegheranno all'interno anche tiranti e zanche potenti di rame. Inoltre il cuneo piú alto dell'arco, che è detto chiave, se pur tagliato in linee parallele con gli altri, sarà tenuto di spessore maggiore a una delle sue estremità, sí da potersi porre in opra solo col battipalo e cacciandolo dentro con colpi. Cosí vengono anche le altre pietre dell'arco piú strettamente compresse e piú facilmente adempiono al loro scopo. L'intero riempimento va fatto di una pietra senza difetti, come si può trovar soltanto facendo un ben sicuro collegamento. Se però non si dispone di tanta copia di pietre sane quanto ne abbisogna, non contrasterò se per bisogno s'impiegano pietre piú deboli per fare il riempimento, ma allora l'intera schiena della vôlta, la pietra di chiave e le due schiere a lato di queste devono essere fatte senz'altro di pietra particolarmente robusta. [66]

Movimento di carichi. Non mi tratterrò ad illustrare come un carico abbia la proprietà di esercitare costantemente una pressione, come esso sempre tenda al basso, come esso con tutte le sue forze resista al sollevamento, come esso mai non si sposti se non perché vincitore di o vinto da un maggiore peso, o da una maggior forza ad esso contrapposta. E neppure ripeterò che ci sono diversi modi di movimenti, centrifughi, centripeti, e circolari; che alcune cose si devon muovere, altre tirare, altre spingere e simili. Su ciò saremo piú precisi in altro luogo. Ciò tuttavia resta per certo, che in nessun modo si muove un carico piú facilmente che verso il basso, ché in tal caso esso si muove per suo volere; e in nessun modo piú difficilmente che verso l'alto,

ché ciò contrasta alla sua natura. E ancora: c'è un terzo modo di movimento, che sta fra questi due e che forse possiede le proprietà d'entrambi, ché infatti i carichi né da soli si muovono né pure contrastano, quando li si tira su un percorso piano, sul quale trovino quanti meno ostacoli possibile. Da ultimo sta per certo che tutti gli altri movimenti, che sian parenti a questo o a quello, sono piú o meno difficili da farsi a seconda della loro natura. In che modo si possono muovere grandissimi pesi ci è tuttavia in gran parte mostrato dalla Natura stessa. Si può infatti osservare come con piccola spinta si possa far oscillare un carico disposto sopra a una colonna che sta ritta; e se esso comincia a cadere, esso non può piú da nessuna potenza esser trattenuto. Anche si può vedere come colonne tornite e rulli e cose rotonde si possano muovere con facilità; si può a fatica trattenerle, quando rotolano; se invece si vuol trascinarle, senza che rotolino, ciò non è facile da compiersi. È noto pure che si può con leggera fatica muovere attraverso all'acqua ferma anche i piú pesanti navigli, se vengono tirati. Se invece si spingono, anche con il piú possente sforzo non si muovono dal lor posto; ci sono per altro cose che con subita spinta ed istantanea fatica si mettono in movimento, che altrimenti senza l'impiego di grandi forze non si potrebbero muovere. Sul ghiaccio anche cose pesanti si possono muovere senza incontrar resistenza. Assai si conviene riconoscer le ragioni di tutto ciò per trarne un pratico vantaggio. Per ciò in poche parole ne tratteremo. La superficie di base del carico dev'essere ben salda e piana. Quanto piú essa è vasta, tanto meno si rovina la via, quanto piú è stretta, tanto piú mobile è il carico, ma farà solchi e strisce sulla via. Se la base del carico ha delle punte, si potranno usare come appoggio per percorrere a tratti la strada. Se la via è liscia, di buon fondo, piana e uniforme, senza salite e discese in alcun modo e se non contiene ostacoli, non ci sarà carico alcuno che si ribellerà o rifiuterà l'obbedienza, salvo il fatto che per sua natura ogni carico ama solo la quiete, ed è quindi pigro e neghittoso. La considerazione di simili cose sembra aver tratto Archimede, che piú acutamente cercava di penetrare le forze stesse della Natura, a proferire la sentenza: che egli avrebbe sollevato il mondo dai suoi cardini, se solo gli fosse a ciò dato un acconcio punto di appoggio.

Non è difficile fare una base opportuna e una via opportuna, come quelle che ci abbisognano. Si devono infatti porre delle travi a seconda della grandezza, del numero, della larghezza e del peso del carico, che siano abbondanti e robuste, in nessun luogo ruvide, il cui

congiungimento non mostri in alcun luogo interruzione. Fra la base del carico e la strada si deve porre un qualche mezzo che renda piana la via. Si prende a tal uopo sapone o talco o schiuma d'olio o creta liquida. C'è ancora un altro modo dello scorrere, che opera per la larghezza mediante cilindri posti di sotto. Se ve ne son molti, è difficile mantenerli sulla stessa linea ed a uguale distanza sopra la via, ma ciò è tuttavia necessario, altrimenti essi vanno a finire l'uno sopra l'altro, scavano il suolo e portano il carico su una falsa strada. Essi van tenuti insieme ordinatamente, cosí essi fanno il loro servizio. Se son però troppo pochi, essi sono allora o troppo deboli per il carico, e verranno lasciati indietro e schiacciati, oppure come spigoli troppo acuti penetreranno nella superficie della via o su quella di base del carico, rovinandole entrambe. [67]

L. Olschki, che ha penetrantemente analizzato l'opera di questi tecnici d'arte del XV secolo, parla di essi come di "mastri sperimentatori."[8] In effetti essi cercarono di risolvere alcuni problemi tecnici per via sperimentale. Cosí Francesco di Giorgio Martini, attivo intorno al 1475 alla corte di Urbino come tecnico di guerra, si sforzò di determinare tutte le relazioni piú importanti per l'uso delle bocche da fuoco, quali le relazioni fra quantità di polvere e peso del proiettile, o fra lunghezza, diametro e spessore della canna del cannone.

Delle artiglierie. I moderni nuovamente hanno trovato un instrumento di tanta violenza, che contro a quello le armi, gli studi, la gagliardia poco o niente vale... Onde non senza qualche ragione da alcuni non umana ma diabolica invenzione è chiamata.

E benché di tale instrumento il fondamento sia una materia, un agente e un modo di procedere a varie offese: nientedimeno, siccome al presente si vede manifestamente, sono trovate diverse figure in lunghezza e diametro, delle quali forme non mi pare impertinente al presente determinare, perché ad una medesima scienza s'aspetta considerare dell'uno e dell'altro contrario, secondo la sentenza di tutti i filosofi, siccome la medicina considera le cagioni del morbo, e cosí eziandio delle cagioni della sanità principalmente fa menzione; similiter in quest'arte nostra è conveniente non solo considerare di questo instrumento per ostare a quello, ma anco per ostare con quello.

Sono adunque queste le specie principali di questa macchina. In prima la Bombarda di lunghezza comunemente di piedi 15 in 20: la pietra sua di pondo di libbre 300 in circa. In altro modo si può pigliare la sua lunghezza dal diametro della pietra sua in questa forma: sia

la gola ovvero coda della bombarda lunga due diametri della pietra (intendendo per la gola il vacuo dove sta la polvere), e la vite che congiunge la gola con la tromba sia la metà del diametro, e la tromba sia di cinque in sette diametri; e (proposta la comodità del trattare e maneggiare la bombarda, per la quale si fa di due o di piú parti) quanto la tromba piú lunga, e l'instrumento di manco parti fusse, di tanto maggiore efficacità saría. E con questa per retta linea si offende...

La sesta è chiamata Basilisco, lunga piedi 22 in 25; la pietra sua (di qualunque metallo) di libbre 20 in circa...

La decima e ultima chiamata Scoppietto, lunga piedi 2 in 3; la paliotta (di piombo) dramme 4 in 6.

E di questi simili instrumenti ogni giorno si è trovato e trova piú varie invenzioni traenti ad un medesimo fine...

Alle Bombarde... si debba dare 16 libbre di polvere per 100 libbre della pietra loro, ... agli scoppietti 8 per 10, ovvero pondo equale...

Della polvere da guerra e del modo di conservarla. Per le ragioni antidette è conveniente trattare delle polveri diverse secondo forme diverse d'instrumenti. Per questo è da sapere che la polvere della bombarda..., che porti pietra di libbre 200 in su, ricerca sette parti di nitro, quattro di zolfo, e tre di carbone, secondo il peso loro. La polvere... dei ... Basilischi, ... otto di nitro, tre di zolfo e due di carbone. Delli scoppietti quattordici di nitro, tre di zolfo e due di carbone. [68]

Le ricerche di questi uomini erano caratterizzate da una rigorosa concretezza. Essi però naturalmente non potevano arrivare alla generalizzazione di leggi, per le quali sarebbe stato necessario il lavoro di oltre un secolo e il genio di un Galilei.

La tendenza rinascimentale a spiegare e plasmare il mondo visibile si rivela particolarmente acuta in Leonardo da Vinci. La sua capacità di rappresentazione, eccezionalmente sviluppata non solo nel campo delle belle arti ma anche proprio in quello della tecnica, la sua familiarità, dovuta alla lunga tradizione artigianale fiorentina, con le proprietà dei materiali e con le possibilità offerte da una loro lavorazione a regola d'arte; il suo sforzo di riconoscere nella natura, mediante prove sperimentali, l'esistenza di semplici leggi matematiche; tutto ciò fece di lui un vero tecnico nel senso moderno della parola. La grandezza di Leonardo va ricercata nel campo artistico ed in quello delle costruzioni tecniche, non in quello scientifico, dove egli lascia scorgere ampi addentellati con l'antichità classica ed il Medioevo. Nessuno seppe però penetrare prima di lui con altrettanta profondità nell'essenza del mondo delle macchine. Egli riconobbe nella macchina, come sue parti essenziali, i singoli meccanismi ed i loro elementi,

che considerò staccati dal complesso della macchina. Molti dei disegni tecnici di Leonardo hanno il carattere di veri e propri disegni d'officina, in base ai quali le singole parti della macchina possono venir effettivamente

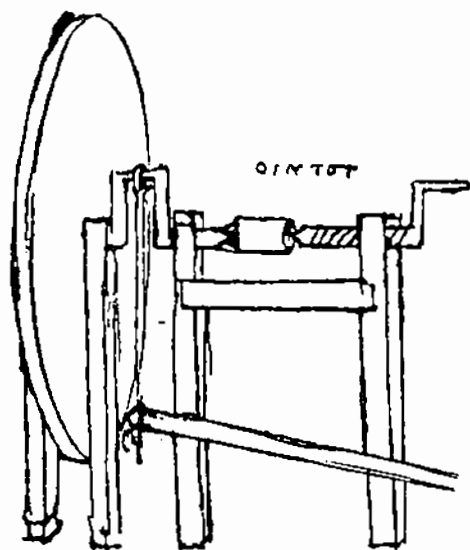



Fig. 33. *Tornio a pedale con volano per la continuità del moto rotatorio.* Schizzo dal Codice Atlantico di Leonardo da Vinci; 1500 circa.

costruite. Gli innumerevoli progetti tecnici, che superavano di gran lunga i tempi, certamente per la maggior parte non furono realizzati da Leonardo; alcuni non sarebbe neppure stato possibile eseguirli con i mezzi di allora, e anche in epoche successive restarono celati nell'immenso tesoro dei manoscritti leonardeschi, in cui ben pochi avevano potuto guardare nel XVI secolo; da questi progetti possiamo trarre il tornio a pedale (fig. 33), la macchina automatica per l'incisione delle lime (fig. 34), il laminatoio per profilati conici, il filatoio con apparecchio ripartitore del filo, il mulino a vento con tetto girevole, la perforatrice per pozzi, il paracadute (fig. 35). Alcuni dei progetti possono senz'altro rientrare nel dominio dell'utopia, come quello del ponte sul Corno d'Oro, che con un arco di 230 metri di luce doveva superare il braccio di mare fra la Galizia e Istambul.[4] Leonardo eseguí ricerche sperimentali sull'attrito, tendendo in tal modo a superare la meccanica puramente geometrica di Archimede; cercò pure di determinare con il calcolo e con l'esperienza la resistenza di pilastri e travi. Nonostante alcuni caratteri marcatamente moderni, Leonardo rivela

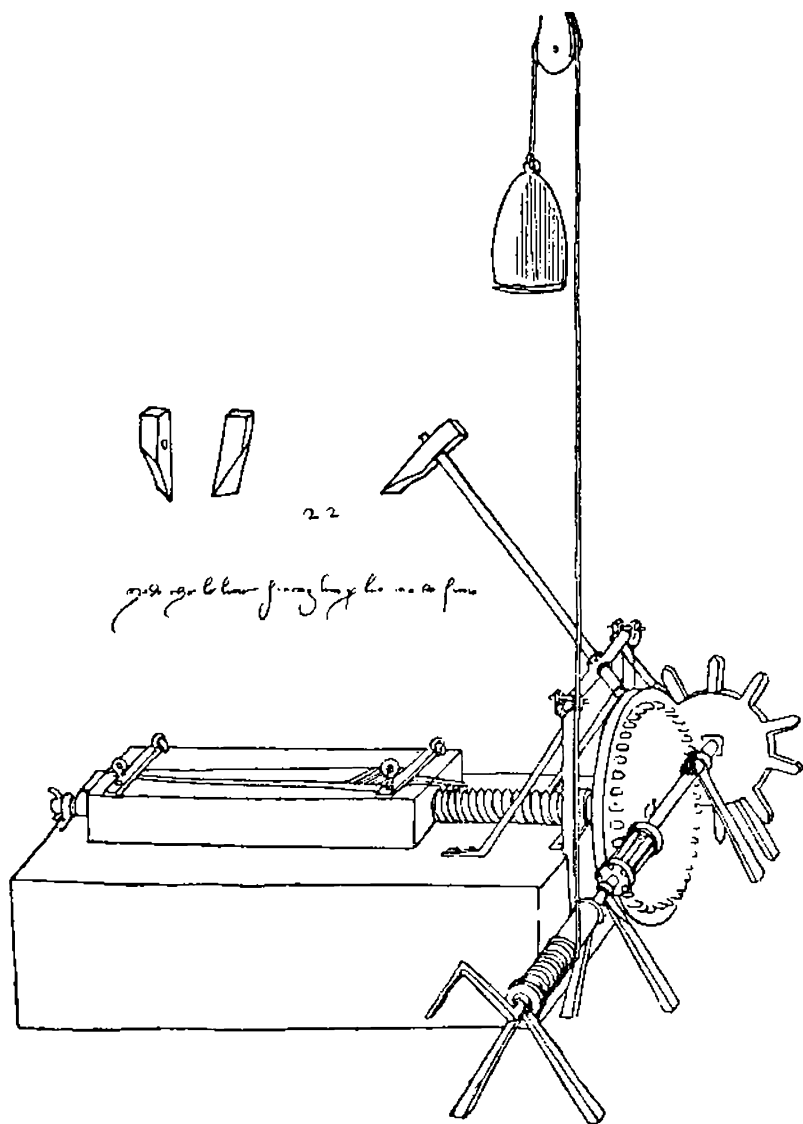



Fig. 34. *Macchina per incidere lime con azionamento a peso.* Schizzo dal Codice Atlantico di Leonardo da Vinci; 1500 circa.

tuttavia nei suoi *Libri di meccanica* anche molti elementi fantastici, allegorici e antropomorfici. Olschki ha ben ragione quando dice che Leonardo, oltre agli influssi della tradizione artigianale italiana, risentiva anche un po' dell'influenza dello spirito romantico e speculativo dell'Accademia Platonica fiorentina. La definizione leonardesca del concetto di forza ci può testimoniare questa duplice concezione.

La forza è tutta per tutta sé medesima, ed è tutta in ogni parte di sé.

Forza è una virtú spirituale, una potenza invisibile, la quale è infusa, per accidental violenza, in tutti i corpi stanti fori della naturale inclinazione.

Forza non è altro che una virtú spirituale, una potenza invisibile, la quale è creata e infusa, per accidental violenza, da corpi sensibili nelli insensibili, dando ad essi corpi similitudine di vita; la qual vita è di maravigliosa operazione, costrignendo e trasmutando di sito e di forma tutte le create cose, corre con furia a sua disfazione, e vassi diversificando mediante le cagioni.

Tardità la fa grande, e prestezza la fa debole.

Vive per violenza, e more per libertà.

Trasmuta e costrigne ogni corpo a mutazione di sito e di forma.

Gran potenza le dà gran desiderio di morte.

Scaccia con furia ciò che s'oppone a sua ruina.

Trasmutatrice di varie forme.

Sempre vive con disagio di chi la tiene.

Sempre si contra pone ai naturali desideri.

Da piccola con tardità s'amplifica, e fassi d'una orribile e maravigliosa potenza.

E costrignendo sé stessa, ogni cosa costrigne.

[...] abita ne' corpi stati fori de lor naturale corso e uso.

[...] volentieri consuma se stessa.

[...] forza è tutta in tutto, e tutta per tutto il corpo dov'è causata.

[...]nza è solo un desiderio di fuga.

[Se]mpre desidera farsi debole e spegnersi.

[...]lo costretta, ogni corpo costrigne.

[Ne]ssuna cosa sanza lei si move.

[Ne]ssuno sono o voce sanza lei si sente.

[...] sua vera semenza sta ne' sensibili corpi. [69]

Hans Hesse, *Fornace*, XVI secolo.

Le pagine seguenti, che costituiscono una richiesta per un posto alla corte di Ludovico Sforza e per un incarico nella costruzione del Duomo di Milano, ci lasciano capire la vastità del campo d'attività tecnica ed artistica di Leonardo.

Voi sapete le medicine, essendo ben adoperate, rendon sanità ai malati, e quello che ben le conosce, ben l'adoprerà, quando ancora lui conoscerà che cosa è omo, che cosa è vita e complessione, che cosa è sanità; conoscendo queste bene, conoscerà i suoi contrari; essendo cosí piú vicino sarà al riparo ch'alcun altro. Questo medesimo bisogna al malato domo, cioè un medico architetto, che 'ntenda bene che cosa è edifizio e da che regole il retto edificare deriva, e donde dette regole son tratte, e in quante parte sieno divise, e quale siano le cagione, che tengano lo edifizio insieme, e che lo fanno permanente, e che natura sia quella del peso, e quale sia il disiderio de la forza, e in che modo si debbono contessere e collegare insieme, e, congiunte, che effetto partoriscino. Chi di queste sopra dette cose arà vera cognizione, vi lascerà di sua rason e opera sadisfatto.

Onde per questo io m'ingegnerò non ditraendo, non infamando alcuno, di saddisfare in parte con ragioni e in parte coll'opere, alcuna volta dimostrando li effetti per le cagioni, alcuna volta affermando le ragioni colle sperienze, e 'nsieme con queste accomodando alcuna alturità de li architetti antichi, le pruove de li edifizi fatti, e quali sieno le cagioni di lor ruina e di lor permanenzia, eccetera.

E con quelle dimostrare qual è *la cagione* prima del carico, e quale e quante sieno le cagioni che danno ruina a li edifizi, e qual è il modo della loro stabilità e permanenza.

Ma per non essere prolisso a vostre eccellenze dirò prima la invenzione de 'l primo architetto del domo, e chiaramente vi dimostrerò qual fussi sua intenzione, affermando quella collo principiato edifizio, e, facendovi questo intendere, chiaramente potrete conoscere il modello da me fatto avere in sé quella simmetria, quella corrispondenzia, quella conformità, quale s'appartiene al principiato edifizio.

Che cosa è edifizio, e donde le regole del retto edificare ànno dirivazione, quante e quale sieno le parte appartenente a quelle.

O io, o altri che lo dimostri me' di me, pigliatelo, mettete da canto ogni passione. [70]

Avendo, Signor mio Illustrissimo, visto e considerato oramai ad sufficienzia le prove di tutti quelli che si reputano maestri e compositori de instrumenti bellici, e che le invenzioni e operazioni di dicti

instrumenti non son niente aliene dal comune uso, mi exforzerò, non derogando a nessuno altro, farmi intender da vostra excellenzia, aprendo a quella li secreti miei, e appresso offerendoli ad ogni suo piacimento, in tempi opportuni operare con effecto circa tutte quelle cose, che sub brevità in parte saranno qui disotto notate (*e ancora in molte piú, secondo le occurrenzie de' diversi casi...*)

1. Ho modi de ponti leggerissimi e forti, e atti a portare facilissimamente, e con quelli seguire, e alcuna volta fuggire li inimici, e altri securi e inoffensibili da foco e battaglia, facili e commodi da levare e ponere. E modi de ardere e disfare quelli de l'inimico.

2. So in la obsidione de una terra togliere via l'acqua dai fossi, e fare infiniti ponti, gatti, scale e altri instrumenti pertinenti ad dicta expedizione.

3. Item, se, per altezza de argine, o per fortezza di loco e di sito, non si potesse in la obsidione de una terra usare l'officio de le bombarde, ho modi di ruinare omni rocca o altra fortezza, se già non fusse fondata in su el saxo.

4. Ho ancora modi di bombarde comodissime e facile a portare, e con quelle buttare minuta tempesta; e con el fumo di quelle dando grande spavento all'inimico, con grave suo danno e confusione.

5. Item, ho modi per cave e vie secrete e distorte, facte sanza alcuno strepito per venire e disegnato [...], ancora che bisognasse passare sotto fossi o alcuno fiume.

6. Item, farò carri coperti, securi e inoffensibili; e quali intrando intra li inimici con sua artiglieria, non è sí grande multitudine di gente d'arme che non rompessino. E dietro a questi potranno seguire fanterie assai illese e senza alcuno impedimento.

7. Item, occurrendo di bisogno, farò bombarde, mortari e passavolanti di bellissime e utili forme, fora del comune uso.

8. Dove mancassi la operazione de le bombarde, componerò briccolle, mangani, trabucchi, e altri instrumenti di mirabile efficacia, e fora dell'usato; e in somma, secondo le varietà dei casi, componerò varie e infinite cose da offender o di [fendere].

9. E quando accadesse essere in mare, ho modi de molti instrumenti actissimi ad offender e defender, e navili che faranno resistenzia al trarre de omni grossissima bombarda, e polvere e funi.

10. In tempo di pace credo satisfare benissimo a paragone de omni altro in architettura, in composizione di edifici e pubblici e privati, e in conducer acqua de uno loco ad un altro.

Item, conducerò in sculptura di marmore, di bronzo e di terra, si-

militer in pictura, ciò che si possa fare a paragone de omni altro, e sia chi vole.

Ancora si poterà dare opera al cavallo di bronzo, che sarà gloria immortale e eterno onore de la felice memoria del Signor vostro patre e de la inclita casa Sforzesca.

E se alcuna che le sopra dicte cose a alcuno paresse impossibile e infactibile, me offero paratissimo a farne experimento in el parco vostro, o in qual loco piacerà a vostr'Excellenzia, a la quale, umilmente quanto piú posso, me recomando. [71]

Gli ardenti ma inutili sforzi di risolvere il problema del volo umano ebbero una parte assai importante nella vasta produzione tecnica di Leonardo. Egli studiò il volo degli uccelli, si sforzò di determinare gli effetti della resistenza dell'aria, progettò varie specie di apparecchi per il volo muscolare, disegnò un paracadute ed un'elica. Nelle frasi qui sotto citate egli ci appare intento alle sue ricerche tecniche sul volo; apprendiamo in particolare come egli, con criteri del tutto moderni, ponesse a base del suo lavoro tecnico prove sperimentali e misurazioni, come quando cercava, con mezzi tuttavia ancora insufficienti, di determinare con la bilancia la resistenza dell'aria al moto di un'ala.

Tanta forza si fa colla cosa in contro all'aria, quanto l'aria contro alla cosa. Vedi l'alie percosse contro all'aria far sostenere la pesante aquila sulla suplema sottile aria, vicina all'elemento del fuoco. Ancora vedi la mossa aria sopra 'l mare, ripercossa nelle gonfiate vele, far correre la carica e pesante nave; sí che per queste demostrative e assegate ragioni potrai conoscere l'uomo colle sue congegnate e grandi ale, facendo forza contro alla resistente aria e, vincendo, poterla soggiogare e levarsi sopra di lei. [...]

Se uno uomo à un padiglione di pannolino intasato, che sia 12 braccia per faccia e alto 12, potrà gittarsi d'ogni grande altezza sanza danno di sé [...] (fig. 35).

Fig. 35. *Paracadute* (a sinistra). *Misura della forza portante di un'ala* (a destra). Schizzi dal Codice Atlantico di Leonardo da Vinci; 1500 circa.

E se vuole vedere il peso che sosterrebbe questa alia, monti in sur una bilancia, e dall'altra metta tanto peso quanto sé, in modo che le 2 bilance stieno nell'aria di pari altezza; di poi s'appicchi alla lieva dell'ala, e tagli la fune che la sostiene alta (fig.35), subito la vedrà cadere; e s'ella per se medesima cadeva in 2 tempi, facciala cadere in un, appiccandosi colle mani alla sua lieva; e arroga all'apposita bilancia tanto peso, che 'n su quella forza siano ragguagliati; e tanto peso quanto è dall'altra bilancia, tanto ne sosterrebbe l'alia volando; e tanto piú, quant'ella premessi piú forte l'aria. [72]

Leonardo, che ci ha lasciato alcune migliaia di fogli manoscritti, può ben aver avuto l'intenzione di comporre una grande opera enciclopedica in volgare, a simiglianza di alcuni autori classici e sulla base anche di ricerche proprie, che avrebbe dovuto risultare molto utile e interessante, particolarmente per i tecnici e gli artisti meno colti del suo tempo, ma rimase incompiuta.

La tendenza a rendere partecipi dei tesori della scienza cerchie sempre piú vaste, come abbiamo già sottolineato, è un tratto caratteristico del Rinascimento. Anche le opere matematiche e tecniche dell'antichità classica, che furono dapprima stampate nel Rinascimento in edizioni greche e latine, vennero pubblicate dopo l'inizio del XVI secolo anche in volgare, e nei commenti e nelle note si aggiungevano nozioni nuove. Nel XVI secolo comparvero, accanto a quelle latine, anche molte edizioni volgari, soprattutto italiane, degli scritti di Euclide, Archimede, Vitruvio ed Erone. Le opere classiche, in prima linea quelle di Euclide, ebbero cosí modo di penetrare in vaste cerchie scientifiche e popolari operando in larghezza e profondità. Nel 1525, con la sua *Unterweysung der Messung mit dem Zirckel und Richtschyet* (*Istruzioni per misurar con il compasso e la squadra*), Albrecht Dürer, che fu artigiano tecnico e artista come Leonardo, diede ai suoi compatrioti, particolarmente a tutti gli artisti e agli artigiani che non potevano fare a meno di un certo corredo di scienza matematica nella loro professione, una guida in tedesco per lo svolgimento della loro attività pratica, che servisse di introduzione alla geometria applicata: un'abile rielaborazione e volgarizzazione di quanto egli aveva appreso durante la sua permanenza in Italia e nei suoi contatti con gli umanisti di Norimberga. In questi sforzi, nei quali si impegnavano particolarmente i giovani che non avrebbero altrimenti trovato chi si curasse di loro, si può rilevare una caratteristica sociale, anche se per il resto il Rinascimento era ancora estraneo ad una sensibilità sociale.

Come nella Germania meridionale Dürer, cosí nell'Italia settentrionale il matematico Niccolò Tartaglia si pose al servizio di un artigianato in ascesa che auspicava un approfondimento scientifico del proprio lavoro.

Mastri archibugieri e tecnici di guerra, esperti minerari e fonditori di metalli, agrimensori e commercianti devono essersi spesso rivolti con ogni sorta di quesiti al dotto Tartaglia. Particolare interesse presentava per l'uomo di guerra il problema della traiettoria dei proiettili d'artiglieria: il modello fisso della scienza scolastica aristotelica non poteva dare a questo propo-

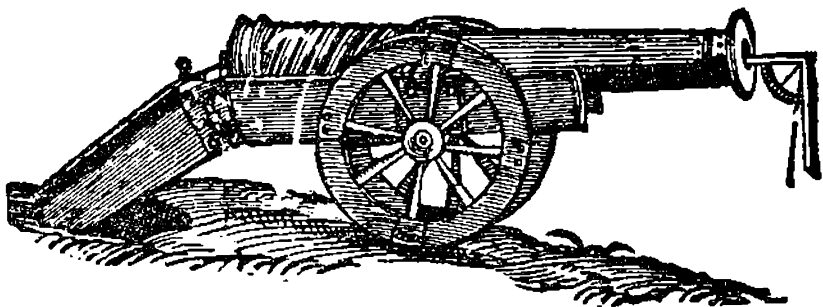



Fig. 36. *Quadrante per la misurazione dell'elevazione della canna di una bombarda.* Anno 1538.

sito alcuna risposta soddisfacente. Il Tartaglia non ebbe mai ad esercitare praticamente l'arte della costruzione d'artiglierie, ma si giovò delle esperienze dei pratici e fece anche eseguire diverse prove sperimentali: fu cosí in grado di trarre alcune conclusioni teoriche che, per quanto anche in esse si mescolasse ancora il vero con il falso, portarono tuttavia a nuove conoscenze. Che la traiettoria risulti curva in ogni sua parte e che la gittata massima si ottenga con un'inclinazione di 45° erano risultati fondamentali del suo lavoro, che potevano sempre risultare di qualche aiuto nella pratica. Erano i primi, assai modesti passi nel campo di una "nuova scienza," nella quale si procedesse da alcuni dati d'esperienza per trarne conclusioni di carattere generale, verificando attraverso prove sperimentali le conoscenze cosí acquisite. Ma, come abbiamo detto, si tratta qui solo di primi passi. Il problema del mastro archibugiere, di determinare la traiettoria effettiva del proiettile, ossia, in definitiva, le esigenze della pratica, furono di non piccola importanza per lo sviluppo della nuova fisica. Anche Galileo, piú di mezzo secolo piú tardi, ebbe come punto di partenza delle questioni pratiche. Riportiamo nel seguito un dialogo fra Niccolò Tartaglia ed il Duca di Urbino, Francesco Maria della Rovere, dell'anno 1538 circa. Osserviamo a tale proposito che il quadrante (figg. 36, 37) era già stato utilizzato prima del Tartaglia.

Quesito primo fatto dall'illustrissimo Signor Francesco Maria Duca Eccellentissimo di Urbino. L'anno M.D.XXXVIII in Venetia.

Fig. 37. *Puntamento di una bombarda.* Anno 1547.

Duca: Che ragioni sono quelle che dicete di haver trovato nel vostro libro [dal titolo *Nuova Scienza*] a me intitolato, sopra al tirare dell'artiglierie?

Niccolò: La proportione, et ordine de i tiri lontani, et propinqui di qual si voglia pezzo et qual si voglia sorte di balla.

Duca: Io non v'intendo, parlatemi piú chiaro et datemi un esempio.

Niccolò: Volendo essemplificar questa nostra inventione a vostra Eccellentia, sono astretto a parlare prima di quello istrumento materiale, da noi ritrovato... il quale istrumento è una squadra [quadrante] di legno, over di alcun metallo fatto con diligentia...

Segue a questo punto la descrizione di un quadrante provvisto di filo a piombo per la misura dell'alzo di un cannone. Il quarto di cerchio è all'uopo diviso in 12 parti, ciascuna con 12 suddivisioni: in totale, 144 parti (fig. 36). Il dialogo quindi prosegue:

Duca: Che volete inferir per questo?

Niccolò: Primamente voglio inferire questo, che tirando un pezzo alla elevatione del primo ponto, tirarà molto piú lontano di quello che farà stando a livello, et tirandolo alla elevatione del secondo ponto tirarà molto piú lontano di quello, che farà alla elevatione del primo ponto, et cosí alla elevatione del terzo ponto tirarà piú lontano, che alla elevazione del secondo, et cosí alla elevatione del quarto tirarà anchora assai piú lontano di quello, che farà alla elevatione del terzo, et similmente alla elevatione del quinto tirarà alquanto piú, che alla elevatione del quarto, et cosí alla ultima elevatione, cioè al sesto ponto, con balla di piombo tirarà alquanto piú che alla elevatione del quinto, ma poco piú, perché la ragion ne dimostra, che questi due tiri, cioè tirati al quinto, e sesto ponto sono tanto vicini... Et chi potesse elevar tal pezzo, come se fanno li mortari, cioè al settimo ponto, senza dubbio al detto settimo ponto tirarà alquanto manco che al detto sesto, et cosí all'ottavo ponto tirarà assai manco, che al detto settimo... et similmente al duodecimo, cioè a l'ultimo ponto tirarà molto e molto manco che à l'undecimo anzi in tal ultima elevatione per ragion naturale la balla doveria ritornar a dare precisamente nella bocca di tal pezzo, ma ben non anderà a dare molto lontana dal detto pezzo.

Duca: Egli è cosa consonante quasi tutto quello che aveti detto, ma che voleti inferir per questo?

Niccolò: Voglio secondariamente inferir questo, che noi habbiamo ritrovato in che specie di proportione over ordine vanno augmentando li detti tiri in ogni elevatione, et non solamente a ponto per ponto della detta nostra squadra, ma anchora a minuto per minuto per fin alla elevatione del sesto ponto, over di 72 minuti et in ogni sorte di balla, cioè di piombo, ferro, over di pietra. Et similmente chi potesse elevare li pezzi oltra al detto sesto ponto (come se fanno li mortai) havemo anchora ritrovato in che proportione andaranno calando li suoi tiri, et non solamente a ponto per ponto, ma anchora (come detto) a minuto per minuto per fin al fine di tutta la squadra, cioè per fin in capo di tutti li 12 ponti, over 144 minuti.

Duca: Che costrutto se può cavar de tal vostra inventione?

Niccolò: El costrutto de tal inventione è questo, che per la notizia de un solo tiro de qual si voglia pezzo, posso formar una tavola de tutti li tiri che tirarà quel tal pezzo in ogni elevatione, cioè a ponto per ponto, et a minuto per minuto della nostra squadra la qual tavola sarà di tal sostanzia, over proprietà, che qualunque persona l'haverà appresso di sé, non solamente saprà tirare ma saprà far tirare ogni grosso

bombardero con tal forte pezzi di lontano quanti passa li parerà...

Duca: Ma se colui che haverà tal vostra tavola non vorà tirare lui medesimo, ma vorà far tirare à un'altra seconda persona, non sarà necessario che tal seconda persona impari tal secreto?

Niccolò: Non, Signor Eccellentissimo, anzi tal seconda persona restarà come restano li garzoni di speciari di medicine, li quali continuamente compongono medicine, secondo che gli vengono ordinate dalli medici, et tamen mai imparano a saper medicare.

Duca: Questa mi pare una cosa molto dura da credere, et tanto piú che nel nostro libretto voi diceti che mai tirasti di artigliaria, né di schioppo, et colui che fa un giudicio di una cosa, della quale non habbia visto l'effetto, over esperientia, la maggior parte delle volte si inganna, perché solamente l'occhio è quello che ne rende vera testimonianza delle cose immaginate.

Niccolò: Egli è ben vero che il senso esteriore, ne dice la verità nelle cose particolare, ma non nelle universale, perché le cose universale sono sottoposte solamente a l'intelletto, et non ad alcun senso.

Duca: Basta se me fareti veder questo (cosa che non credo) il mi parerà un miracolo.

Niccolò: Tutte le cose che accadono per natura, over per arte pareno de grande ammiratione, quando che di quelle non si sa la causa, ma presto vostra Eccellentia se ne potrà chiarire, facendone far l'esperientia con un pezzo.

Duca: Voglio andare per sin a Pesaro subito che sia ritornato, certo la voglio vedere. [73]

Le ferriere del primo Rinascimento

Il Tartaglia, come abbiamo detto, scriveva in italiano, cioè in lingua volgare, per poter essere compreso dalle persone pratiche, che non conoscevano bene il latino. Nel campo della chimica tecnica e della lavorazione dei metalli, un contemporaneo del Tartaglia, Vanoccio Biringuccio, mastro senese dalla multiforme attività, fu autore di un'opera, la *Pirotechnia*, del 1540, anch'essa redatta in volgare ed anch'essa diretta ai pratici: opera notevole per il suo carattere realistico e critico, segno dell'acuta sensibilità presentata dalle persone dedite a una attività pratica nelle città toscane di quell'epoca (fig. 38). La lavorazione del ferro e dei metalli presentava in Biringuccio parecchi progressi nei confronti del Medioevo (vedi pag. 146). Una piú ampia utilizzazione dell'energia idraulica contraddistingue l'attività mineraria e siderurgica rinascimentale. Possediamo una chiara descrizione di un forno di fusione del primo Rinascimento nella *Architettura* di Antonio Averlino Filarete, del 1464: un'opera sull'arte della costruzione ispirata ai modelli romani. Filarete narra una visita da lui fatta a una fonderia e descrive magistralmente i grandi mantici idraulici.

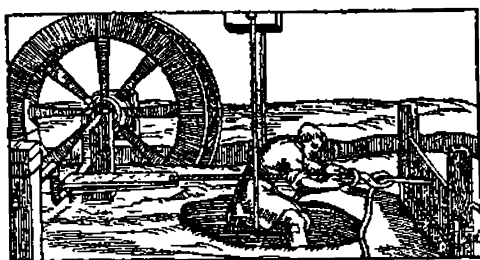



Fig. 38. ***Filiera con ruota idraulica.*** Anno 1540.

E cosí, dato ordine, e preparate tutte le cose opportune, a questi edifici, che bisogno facevano per fornirla, e messi al lavoro i maestri con

molta sollecitudine, furono cominciati tutti edifici nelle forme sopradette.

E perché molta quantità di ferro bisogno faceva, per fornirli, domandai uno, il quale era pratico per lo paese, se in veruno luogo appresso ferro ci fusse.

Rispose che appresso non ne sentiva, "Se non che," disse, "egli è, secondo ch'io ho inteso, che nuovamente s'è trovata una vena di ferro di lunga di qui qualche quaranta o forse cinquanta miglia: sí che, se fusse buono ferro, forse sarebbe assai comodo."

"Tu di' vero, ma chi è costui? non lo sai tu?"

"No, ch'io non lo so, però che non l'ho udito dire ancora."

"Egli è messere Somato da Terie,[6] al quale mi pare ch'el Signore abbi donato quel luogo e el paese intorno, dove mi pare avere inteso lui volervi fare uno castello, sí che tu ne'l puoi domandare, ed intenderai da lui."

"Anzi gli voglio andare a parlare, ed intendere che cosa."

E cosí gli andai a parlare, e, parlatogli, mi disse tutto e che voleva andarvi presto, e farvi uno castello dove che io me gli profersi dicendo se gli piaceva ch'io andrei con lui; e lui mi disse:

"A ogni modo te'l volevo dire, e voglio ancora che ci venga maestro Letistoria, però che voglio fare uno bello castello, sí che voglio l'ordiniamo."

Io, che disideravo vedere quel luogo, e in che modo ancora il ferro si facesse, fu' molto contento.

Non troppo tempo passò che lui chiese licenza al signore per tutti e due. Il primo dí di quadragesima alla sua casa montammo su una nave, lui e con molti de' suoi. Ci ritrovammo la sera circa a due ore di nocte a una terra che si chiama Avipa,[6] e lí la sera fummo ricevuti magnificamente.

La mattina seguente per tempo montammo su una barca, e giú per uno grosso fiume n'andammo, e tutto quel dí in quella barca ci stemmo, con vari e begli ragionamenti. [...]

Giunti la sera a un'altra città, la quale si chiamava Zacienpia,[7] ad essa molti gentili uomini ci vennero incontro, perché costui era uomo di grande reputazione, ed era del consiglio del signore; per questo ancora gli era fatto grande onore donde che stemmo quella sera in questa terra.

La mattina seguente montammo a cavallo, e cavalcammo circa di dodici miglia. A uno castello d'uno gentile uomo arrivammo, il quale era amichissimo di questo con chi noi andavamo, ed ivi giunti fummo ricevuti con bonissimo viso e, ordinati i cavalli di quello che bisogno fa-

ceva noi, in uno luogo bello fu apparecchiato, e, secondo il tempo, de bonissimi cibi cacciammo l'appetito che avevamo del cavalcare acquistato.

E cosí subito montammo a cavallo e per una pianura cavalcammo alcuno miglio; poi cosí un poco per certi colletti montammo, i quali erano assai ameni; massime di grano ed anche di vino si vedeva essere abbondante i quali; ancora in piú luoghi sparte si vedeva case; donde che passati noi per questi collicelli entrammo in una valle, la quale a vedere era molto dilettevole all'occhio, perché un'acqua non troppo piccola nel mezzo la riga e quasi a guisa di biscia discorreva.

Passati per essa acqua per la detta valle cavalcammo piú miglia, e molte case da luogo a luogo trovammo, e per infino a uno suo altro castello cavalcammo.

Giungemmo un poco dinanzi che Febo incominciassi abbassare i suoi raggi, e, giunti ed entrati in questo suo castello, e smontati, rimessi i cavalli, uscimmo fuora della porta d'esso, il quale su uno colletto rilevato era.

Il quale colletto si distendeva quasi dal monte, per infino quasi sull'acqua del detto fiume finiva, e in essa fine questo castello era edificato. Dove che risguardando il sito, e piaciutoci, intorno a esso l'andammo veggendo; e, discesi giú al fiume, il compagno mio ed io una insalata lungo quel fiume andammo cogliendo.

El nostro maggiore, col quale andavamo, lui coll'altra compagnia simile lungo questo fiume venne. In uno prato, che propinquo era al pié di questo castello si mise, e in esso alquanto di piacere prese con quella sua compagnia. I quali, perché giovani quasi la maggior parte erano, chi assaltare e chi alle braccia cominciarono a fare. Cosí loro con quello piacere, e noi con cogliere la 'nsalata passammo tempo tanto che Febo quasi quasi in tutto ci abbandonò.

Ritornando pian piano al detto castello, e cosí noi colla nostra colta erba a uno rivo d'acqua, la quale alle mura del castello correva.

La quale uno mulino col suo impeto per la caduta del colle faceva macinare, dove che sopra alla sua raccolta acqua per gli incastri poi per uno canale sdrucciolava, cioè discorreva; e per l'impeto della sua caduta el detto mulino Cerere spolverizzava.[8]

Sí che in quello luogo assediatici, il compagno mio Letistoria [ed io], in sull'orlo d'essa caduta, ed ivi l'erba colta lavammo, e poi nel detto castello tornammo, e con essa, in una sua stanza, la quale, secondo il luogo, era bella.

E già la sorella di Febo si dimostrava, e tanto da lui la chiarità del-

l'aere era percossa, che non lui da noi pareva essere partito, ma pareva che i raggi suoi a lei avessi lasciati.

Entrati come ho detto, apparecchiato e preparato da dovere cenare, non altro intervallo di tempo ci fu messo. Dato l'acqua alle mani al nostro maggiore e a tutti i seguenti a tavola ci ponemmo, chi con uno cibo e chi con uno altro, e ciascheduno secondo suo appetito ci consolammo; e, cenato, alloggiati tutti fummo in bonissimi letti; e, cacciata la fatica del passato dí, ci levammo.

E preparati i cavalli nostri, e bene di biada rinfrescati, e montati a cavallo innanzi ch'e' raggi del sole per noi si vedesse, presa la debita licenza dal gentile huomo, il quale uno grandissimo onore da lui avuto avamo, sulla detta valle, accompagnati da uno soffiamento boreo [che] dispiacevolmente adava per lo viso, e cosí da esso accompagnati con uno freddo non piacevole, e nessuno col viso turato e stretto, noi n'andavamo.

E su questo fiume in piú luoghi passare ci conveniva, e non altri ponti se non con pié di cavalli passare si poteva; sí che non avendo Febo sparto il suo calore, noi, per l'acqua ed anche per lo detto borea, che alquanto regnava, ci aveva fatto in su' pié l'acqua diventare cristallo: il che, senza sudare, a tutti non che di marzo, ma di dicembre piú presto pareva.

E cosí cavalcando, tanto questa acqua e tanto bisognava passare, non che a noi, ma a' cavalli nostri, l'avevano a noia, e massime a uno mio cane, il quale per lo tanto questa acqua spesso passare non piú poteva sofferire, in tanto che, rimanendo su uno poco di scoglio su la riva del fiume, fu' costretto portarlo a cavallo.

E cavalcati piú e piú miglia su per questa valle, la quale in molti luoghi quasi i monti si congiugnevano l'uno coll'altro, e tanto erano alti che a pena in alcuni luoghi il sole poteva entrare, eravi alcune torri, su per certi bricchi e monti, che quasi in alcuno luogo mi pareva vedere quella montagna che Semiramis, con molti de' suoi salí, per pigliare quella terra che al re Nino era ribellata; ovvero la pietra che Alessandro Magno quasi in quella forma acquistò.

Finalmente, usciti quasi alla fine di questi tanti passamenti d'acqua, arrivammo a una osteria dove che, smontati un poco per riposo de' cavalli, ed anche per rifrigerio di noi, con non so che poco di pane e vino, assai conveniente al luogo un poco di collezione fu fatta; e, rimontati a cavallo, ancora a ripassare l'acqua cominciammo.

E cosí in tra molti sassi su per la detta valle n'andammo, tanto che finalmente, da noi abbandonata, cominciammo a salire il monte: e que-

sta acqua da noi se non di lunga era veduta.

Della qual cosa tutti allegri n'andammo su per lo monte, e cosí, cavalcati forse tre miglia, in cima d'uno colle ci trovammo, ed ivi ci si scoperse la valle dall'altro canto, dove che molte casette accanto ad una torre seminate erano.

E cosí cavalcati per uno miglio le dette case in piú luoghi trovammo, e tanto erano alte che da una parte colle mani si toccava il coperchio, dall'altro erano piú alte queste perché erano in piaggia.

Giunto a uno luogo dove piú case erano 'ninsieme, ci venne incontro alcuni degli habitatori d'esso paese e luoghi, i quali non altra gente a me pareva vedere se non è come questi zingari, né anche sí bene in ordine andavano. L'abito loro era tali panni biancacci grossi e corti, tutti con uno broccoliere alla cintura e la partigiana in ispalla, e 'l facchino allato, non altrimenti che malandrini o rubatori di strada. Paiono a vedere pallidi e di captivo colore; il paese sterile ed assai salvatico.

E giunti in questo luogo non altro fu fatto se non è ragionato d'una torre che era in quello luogo, che 'l tetto suo pareva di cristallo, tanto chiaro era; ed anche delle quattro parti, o vuoi dire facciate, quasi le due erano in terra. Dicevano tutti che sarebbe bene di rifarla, e lui acconsentiva, e dava loro buona speranza.

E passate queste case, discesi giú per una pendente via quasi due miglia andammo, e poi, abbandonato e passato il fiume, ci trovammo dove che, passatolo solo una volta, al luogo dove il forno del ferro era ci trovammo.

Il quale nuovamente fatto lavorava, e, giunti, non altro facemmo se non è andare cosí vedendo il sito intorno; e la sera, alla cena congregati (la quale assai salvatica ci parve: pure, secondo l'altre cose, bisognava che conseguitasse ancora essa), el piacere fu grande, perché intorno al fuoco tutti ci trovammo, dove che molti capi d'agli a cuocere ciascuno missono, e pesci di mare avamo in quantità, cioè sardelle salate.

Sicché, mangiato chi una vivanda e chi un'altra, con uno vino che passava battaglia a lavare e' piedi a' cavalli,[9] e cosí con grande piacere cenammo; e, cenato, dopo molti e vari ragionamenti della edificazione di questa sua terra, dicendo di volere fare mirabilia, poi n'andammo a dormire entro uno letto, il quale portato l'aveano sopra una lettiera, fatta di certi legni con frasche, su l'aveano posto.

Il quale sotto a uno tetto d'asse collocato era, e per le fessure si vedeva il Carro, e 'l Corno, e quelle che volgarmente chiamano le Gallicole[10] né anche a Sillana[11] l'entrata non vietata era; e cosí rassettati chi da capo e chi da pié come sardelle eravamo. E per questo il freddo non

ci offese, ma caldi ed assai assettati stemmo a dormire.

La mattina, levati, e saliti su uno poco di monte, il quale di sopra a questo si conteneva (dove che piano per spazio forse d'una balestra per uno verso, pell'altro non tanto), giunti e misurato il luogo e la distanza che fare voleva questa sua terra, la quale disegnata e ordinata secondo sua voluntà, si dié ordine in prima ad estirpare molti arboracci che v'erano, e poi a distendere le corde secondo e' fondamenti, e cosí lui volle che si cominciasse a cavare.

E sendo uno prete del paese quivi venuto, gli fé benedire e cominciare con tre zappate in esso terreno, e lui poi seguí con piú zappate. Cosí noi seguitammo, poi gli uomini del paese seguitorno e continuorno il zappare: in modo, intendo, essere fornita la torre.

Facto quello il perché io andato era, mi misi a provvedere, cioè in che modo si faceva il ferro, e come stava l'edificio d'esso ferro, cioè il forno dove si scola.

Il quale è in uno modo fatto che male a parole si può dare a 'ntendere, n' anche per disegno non bene in tutto si può intendere; pure, il meglio si potrà e che saperò vi dirò, e, con disegno, tanto che quanto sarà possibile il chiariremo.

Prima, il sito dove questo era stava in questa forma.

Tutti questi erano monti altissimi, i quali si riducevano e facevano la valle antedetta; ma qui, dove questa valle cominciava era stretta che, leggermente, colla mano traendo uno sasso, l'una ripa e l'altra si sarebbe toccata. E qui due fiumicelli insieme si congiugnevano e facevano poi il fiume antedetto.

El sito avete inteso. Il luogo dove il ferro si faceva era, prima, una casa quadra, la quale al pié di questo monte quasi sul fiume era posta, come qui si vede per disegno, la quale era spartita in due parti per mezzo, con uno muro alto di qualche otto braccia, e cosí di larghezza era dall'una delle parti, dove che stavano i mantici.

L'altra parte non era tanto di larghezza, ed a questa parte rispondeva il forno. La bocca del quale, dove che per essa bocca si metteva il carbone, ed anche la vena che poi scolata se ne fa ferro.

Questo forno, come ho detto, sta in questo spartimento, dove il qual forno non altra forma se gli vede, se non dal canto di sopra, dove si mette il carbone, essere l'antedetta bocca, per la quale, come ho detto di sopra, si mette la vena e 'l carbone, il quale in su questo solaro si tiene.

E' suoi màntaci stanno di sotto a questo solaro, al piano terreno di sotto, e stanno in questa forma, come qui sono disegnati. (Non stanno

nel modo che gli altri: questi, stanno in coltello, e non per lo piano come gli altri.) I quali l'acqua, come qui si può intendere, gli fa soffiare.

Sono d'altezza di circa sei braccia, e di larghezza quattro. Hanno ciascheduno una finestra, dove si ricoglie il fiato, che è di grandezza d'uno braccio.

E questi, quando soffiano, fanno uno romore ed uno tuono sí grande che pare il mare quando ha fortuna, come se l'uomo stesse rinchiuso in qualche luogo appresso, e non si vegga: cosí questo proprio pare.

Sono fatti di pelle di bue; erano grandissimi e ben ferrati di buoni ferramenti, e grossi, e, ben che siano due màntaci, non hanno per ciò se non è una canna, dove che manda il vento nel fornello. Stanno con due legni congegnati in modo che qui si può in parte comprendere: e qui proprio dove la canna d'essi màntaci soffia nel forno, di quel medesimo luogo si cava quando il ferro è colato, cioè un poco sotto a essa bocca della canna.

E vi è ancora, appresso questi màntaci, come dire uno pozzo, dove continuo corre acqua, dove che in essa gettano il ferro colato, il quale uno gran pezzo si vede rosso sotto questa acqua. Puzza grande ci è di solfo.

Gli uomini che questo esercizio fanno sono uomini possenti, i quali non altrimenti paiono, a vedere, che quegli che stanno nella casa di Plutone a tormentare l'anime: neri, tutti in camicia, ovvero con pochi altri panni, e tutti i zoccoli portano in pié.

E quando cavano fuori il ferro colato, sturano con certi loro ferri apti a quello, e sturano cosí un poco da canto, e di sotto, dove è la canna del màntaco posta: e con grande caldo e fatica di loro lo fanno uscire, e uscendo cosí corre proprio come fusse bronzo, ovvero metallo di campana, e, uscito che gli è, con non so che fassi d'una certa pietra che a quello calore ed alla bocca de' màntaci resiste bene.

Fatto e cavato il ferro lo tirano fuori. Cioè, messo che l'hanno in questo pozzo, non altrimenti pare che uno metallo colato, a vedere; e, come è detto di sopra, non è dubbio che, avendo forma nessuna in quello luogo sotterrata, quando questo ferro esce dal forno, che qualunque forma fusse s'impronterebbe come se metallo fusse.

A confermazione di questo, nel castello di Milano gli è una bombarda colata di ferro, la quale è in forma d'uno lione, proprio, a vedere, pare che a giacere stia.

Sicché, cosí colato, messo in cava, lo portano poi a un'altra fucina, dove che un'altra volta il colano, e poi lo distendono col martello,

secondo a loro pare e che stia meglio e che faccino.

In questo luogo ancora non era adattato né fornito da poterlo battere; ma io dico come stava uno che io ne vidi essendo a Roma, il quale era circa di dodici miglia di lunga da Roma, a una badia chiamata Grottaferrata, dove che stava monaci che ufficiavano al modo greco. Il luogo è assai bello, e cosí la badia, e circuito d'essa come uno castello, e murata intorno. Vero è che per lo mancamento degli abitatori del paese il luogo è assai inselvatichito, e selvi intorno assai sono.

Donde che questo luogo di questo maglio è cosí un poco di fuori di questo circuito, dove che una acqua, la quale corre per lo sito, che viene a essere un poco in monte. E in quello luogo sparta una valle, d'uno monte dall'altro, dove che giú per la valle corre questa acqua. La quale adattata per uno canale, in modo che ruote fa voltare: una delle quali fa soffiare i màntaci, e l'altra fa battere il martello.

El modo del quale stanno non come quegli di forno, dove si scola, ma solo un paio di màntaci, fatti come quelli che usano i fabbri, e cosí hanno una fucina quasi in quella forma fatta, e in essa ricolano il fer-

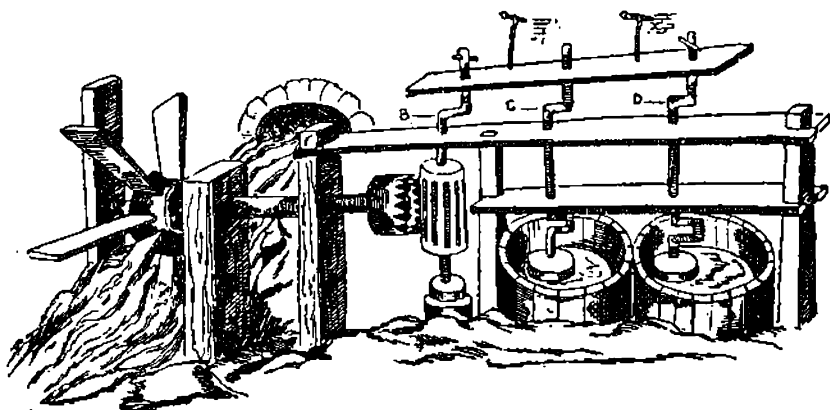
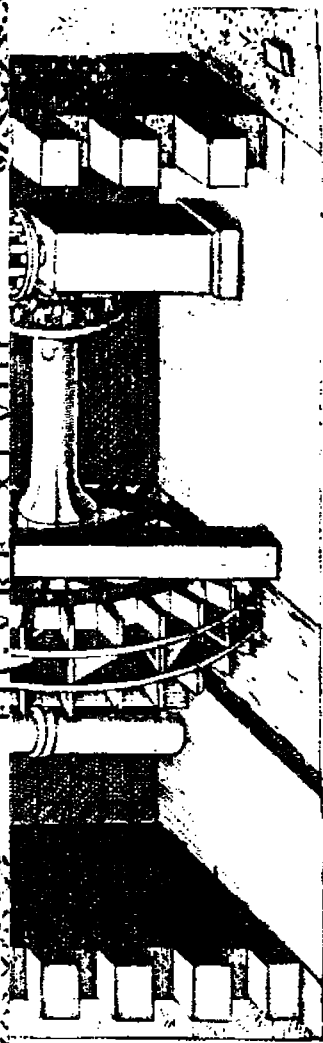
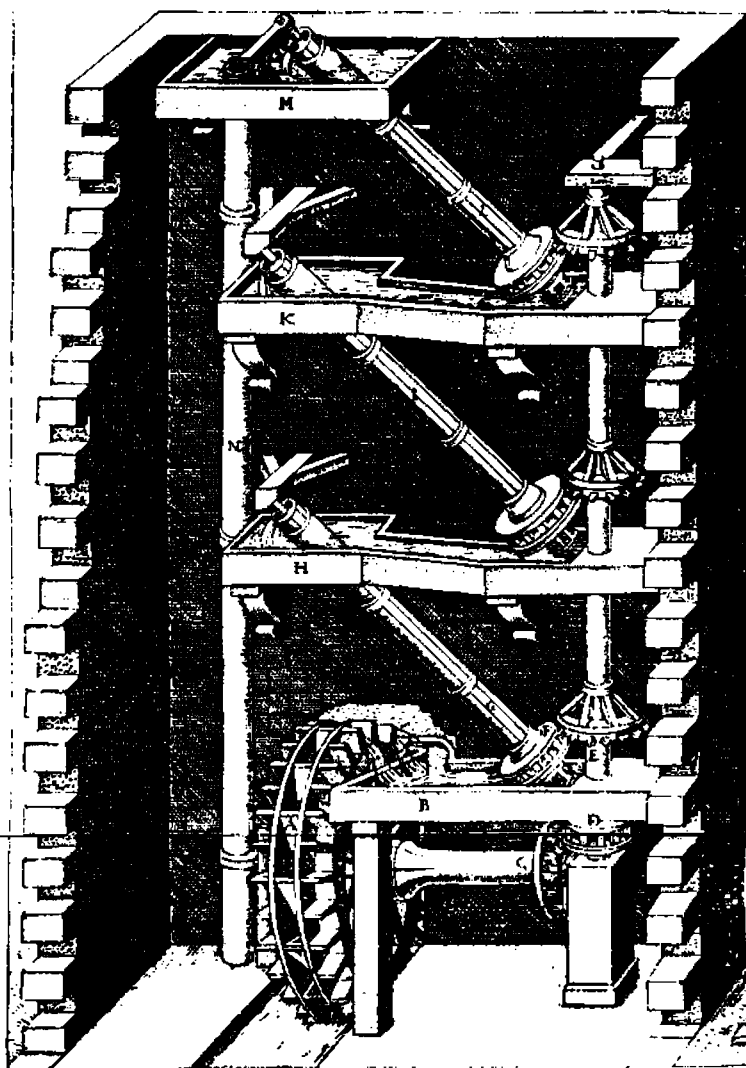



Fig. 39. *Mulino per smalto,* a ruota idraulica (manifattura di maioliche). Anno 1548.

ro, e gittano cotali pezzi secondo loro vogliono poi fare, e con quello martello e acqua poi il battono, e quasi in questa forma come qui si vede sta.

Infino a qui è inteso. Ora è da vedere e intendere la vena, in che modo l'acconciano innanzi si metta al forno a scolare.

Come la vena è cavata, la quale cavano di certi luoghi del monte,

FIGVRE XLVIII.

FIGVRE XLVIII.
M
K
H
B
D
C
E

e pòrtonla al luogo dove è il forno; ed ivi in una fornace de calcina la mettono, e dànnole il fuoco, e fànnola bene infocare; e pro freddarla tutta la rompono, e pèstanla tutta, come dire fave; e poi la crivellano, e poi la mettono nel forno, e mettono uno suolo di carbone e uno di questa vena. E cosí vengono facendo di dodici ore in dodici ore.

Cavano il ferro, e comunemente da venti a venticinque pesi ne fanno per dí, secondo loro dicono. E quando si trae puzza forte di solfo, sicché credo tenga di solfo assai; e cosí la fiamma che esce del forno esce di colore quasi come fa quando solfo s'ardesse, e ancora piú variati colori si dimostra in esso: massime la sera, che a vedere le persone appresso che la fiamma dia allo scontro della persona, cioè del viso, paiono uomini morti a vedere, è la piú strana cosa del mondo, e massime a quegli che stanno a quello servigio, i quali non altrimenti che quegli che tormentano l'anime dannate paiono. [74]

Cinquant'anni circa dopo il Filarete, l'umanista francese Nicolas Bourbon compose nel 1517 una poesia latina sull'altoforno, che ci permette di farci un'idea della tecnica siderurgica del Rinascimento, in pieno sviluppo.

Una mole possente
rozza assai nell'aspetto s'eleva su pianta quadrata,
chiamata "l'altoforno" e fatta di pietra volgare
l'interno soltanto di essa con selci robuste è coperto:
ricoprimento che bene resiste alla vampa del fuoco.
Soffiano canne potenti da fuor la parete di dietro,
unite a mantici di pelli di bue mossi da ruote,
continuamente in moto, sospinti dall'acqua che scorre:
alternativamente soffiano, e sempre soffiano
con eguale potenza. Il fonditore qui sta (cosí è detto):
ei con abile mano la massa fusa manovra
che ghisa vien detta, e governa il soffiare dei mantici;
toglie con ferrei arnesi le scorie, la vampa controlla,
separa il ferro piú puro dal meno puro e sorveglia
tutto, di giorno e di notte, l'immensa fatica patendo.
Grave potrebbe esser colpa dormire soltanto sei ore
in otto settimane, ché tanto lungo è il periodo
che nel forno permane la carica di minerale.
Nuovi possenti mantici aggiungonsi ora a quegli altri
il fuoco rinnovando; il ferro cola in ruscelli
e con un alto rombo la massa fusa precipita

mentre s'alzano vampe fra vortici di fumo nero.
Ignee sfere giganti s'elevano infino alle stelle
simili in tutto ai vapori che l'Etna sulfurei dischiude,
mentre di sotto al peso del monte invano il Ciclope
cerca di liberare il fianco ed urla di rabbia.
Montano come marosi rombando alte le fiamme.
Perché vuota non resti giammai la famelica gola
carbone con minerale un uomo nel forno versando
il fonditore aiuta, e pure in alto egli resta,
un fido amico e pare un Satana nero all'aspetto.
Alacri fanno le forme d'argilla ben lisce e tornite
e il ferro viene colato in queste forme di terra.
Fuse vengono pure colà le tremende bombarde,
vero portato d'inferno — gli Dei s'accesero d'ira
quando ai germani Vulcano offerse quest'arma mortale —
dei proiettili fanno, che abbatton le mura. Per essi
cadono torri e città e vengono vinti i giganti
nella lotta, volando come del fulmine il lampo
con fragore che solo al tuono si può confrontare.
Quando la massa già fusa è appena dal fuoco rimossa
(ma non ancora si può chiamarla col nome di ferro)
un fonditore ancora la scioglie e cosí si dilegua
quanto appena fu fatto: un altro forno migliora
il ferro, lo rende piú dolce, la sferica forma gli dona.
Fabbri possenti di poi lo devon tirare e spianare:
essi impiegano a ciò un maglio enorme di ferro
spinto con grande forza dall'acqua. Pazientemente
scaldano ancora il ferro, lo girano lento sul fuoco
con l'aiuto di forti tenaglie e da ultimo, ardente,
nell'acqua l'immergono. [75]

Vanoccio Biringuccio (vedi pag. 137) ci fornisce un quadro assai chiaro di una fonderia d'ottone a Milano, nella prima metà del XVI secolo: si tratta di una grande impresa per la produzione su vasta scala di oggetti di uso quotidiano.

De la prattica di fare l'ottone. Hor per concludere fassi di questo infiniti lavori, e tegnesi in varii luochi, come in Fiandra, in Colonia, in Parigi, et in piú altri paesi, et ancho in Italia ne la città di Milano, là

dove n'ho veduto lavorare e tegnere gran quantità. E tegnesi in questo modo.

Havevano quei maestri ch'io vidi, in una gran stanza fatto una fornace longa piú che larga assai, e murata di certa sorte di pietre che per lor natura resistevano a longhi fuochi senza fondere né ancho mai incennerarsi. Et dove entrava il fuoco dentro a la fornace, era quasi per tutto un aperto, el corpo d'essa era mezzo, o piú, sotto terra, e di volta era bassa, e da capo e da piei haveva per ogni luocho uno spiraculo, e sopra alla volta haveva due quadri aperti, per li quali si metteva e cavava li crogioli che contenevano il rame per tegnere, e dipoi con sportelletti di terra commessi li turavano. Li crogioli erano di terra di Valentia, overo gli facevan venir fatti da Vienna, et erano grandi molto, e quelli ch'io vidi credo che fussero doi terzi di libre in cercha, et intesi che erano di tenuta di lire 50 o 60 di metallo. Et per far l'opera mettevano in ogniun di questi vasi lire vinticinque di rame de Alemagna peloso, rotto in pezzetti piccholi, e tutto el resto del vacuo, fin presso a l'orlo a due dita, empivano d'una polvere d'una terra minerale di color gialligna e molto ponderosa, quale chiamavano giallamina. Et tutto quel resto del crogiolo ch'avanzava vacuo empivano di vetro pesto, e dipoi per il sopradetti aperti di sopra gli acconciavano dentro alla volta in sul piano del fondo, a due a due, e dipoi gli davan fuocho di fusione hore XXIV, e cosí al fine doppo tal termine trovavano la materia tutta fusa, e quel rame, che prima era rosso, s'era fatto giallo, dolce e bello, e quasi simile per colore a un oro di vintiquatri carati.

Et appresso a questo vidi anchora nella medesima buttiga, in servitio di tal lavoro, diversi esercitii e maestri, infra quali era chi batteva di detto ottone per far oro pello, e chi ne laminava per far quello che si fanno li pontali per le stringhe, e di quelli anchor v'erano che il limavano reduto in anella da sarti, e chi in fibie et altri simili lavori fatti di gitto, et alcuni altri v'era che il lavoravano a martello facendone sonagli, e chi cuchiari, e chi baccini, e chi el tornegiava in candelieri, o altri vasi, e per concludere, chi ne faceva una cosa e chi un'altra, tal che chi entrava in quella buttiga, vedendo un travaglio di tante persone, credo che cosí gli paresse, come pareva a me, intrare in uno inferno, anzi in contrario in un paradiso, dove era uno specchio in che resplendeva tutta la bellezza de l'ingegno e 'l poter de l'arte. Et io tal cosa considerando, mentre che stei in Milano, con grandissimo mio piacere, non fu mai giorno che non v'andasse a passarmi il tempo un'hora o piú, nel qual luocho non fu mai ch'io voltasse gli oc-

chi, ch'io non vedesse qualche ingegniosa novità e bellezza d'esercitii. Per il che considerando l'ordine e grandezza de le cose che per nuove mi si rapresentavano, restavo talvolta tutto stupefatto, et infra le altre vi viddi una sorte di operanti di che 'l proceder mi fu cosa molto nuova.

Et questi erano otto maestri, appresso a piú altri, in una stanza, quali ad altro non attendevano che a formare un luto, et a condurre una infinità di forme di tutte quelle cose picchole che si consumano, o si possan col gitto far d'ottone, con bellissima prattica, la quale non vo' manchare hor di narrarvi, perché è bella.

Pigliavan questi quella quantità di campioni di tutte quelle cose che si determinavano di formare, cioè borchie da cavalli, coppe, fibie d'ogni sorte, maglie, campanelli, anella da cucire, e di quell'altre che vi si lega li vetri, et altre simil cose, e di queste continuamente di formare una sorte tutto un giorno [non si fermavano], e l'altro ripigliavano l'altra, e cosí andavano ogni giorno scambiando il formare de campioni, e cosí, finito quel c'havevano da formare, si ricominciavano da capo, tenendo questa via e modo facile di formare e di fare assai lavoro.

Pigliavano una massa di luto con cimatura, o seme di canne, composto, e ben battuto che alquanto fusse duretto, quella quantità che volevano, e dipoi sopra una tavoletta longa un palmo, e larga alquanto piú che non son li campioni, vi distendevan sopra di tal luto grosso mezzo dito o mancho, e, spianato bene lo spolverizzavano con carbon sottile, e vi formavano li lor campioni tutti attaccati al gitto con li sfiatatoi, boccheta, e con tutte le parti che si ricercha a far una forma in una volta. Eran questi campioni qual di stagno e qual d'ottone, fatti a ponto, limitati e benissimo rinetti, tal che fatto ben la forma cosí havesser da venire.

Et appresso haveva ogni homo de sopradetti maestri avanti a sé, sopra al banco dove formava, un fornelletto quadro di lamine di ferro, e qual di mattoni e terra coperto, e sotto un pocho di gratella, e la boccha aperta e longa quanto era el fornello, nel quale con un pocho di carbone e fuoco dentro messo, sopra la gratella scaldavano, e mantenevan caldo il fornello. Di poi sopra alla boccha, dove era una pocha di gratella, mettevano la mezza forma fresca che pur allhora havevan formata a asciugare, e mentre che la asciugava, di nuovo n'andavan riformando un'altra, e similmente formata, la mettevano appresso de la prima, e cosí n'andava facendo fino a sei o otto pezzi, e dipoi ripigliavano la prima, quale haveva havuto tanto di spatio e di

calore, che era seccha o pocho mancho. Et sopra essa vi facevano l'altra compagna, sopra della quale compagna a la parte di fuori informavano altri campioni, e cosí adavan facendo ne l'altre, e dipoi ricominciavaño facendosi alla prima e successivamente seguitando a tutte. Tal che finite le forme di cosa sopra cosa, le facevano alte tutte insieme mezzo braccio o piú, e larghe mezzo palmo, o quel tanto ch'era larga la tavoletta o la sorte de campioni, a li quali non si deve lassare avanzare spatii inutili. Et cosí, queste finite e ben dissecchate, in un forno come quel da cocere el pane, le apparivano a suolo, e ne cavano li campioni de quali in ogni forma ne veniva a essere XX pezzi o piú, et un numero grande di cose formate, perché v'era campioni di cose che ne conteneva 50 e 60, et alfin tal forme ricommesse e tutte ben serrate, e dove era di bisogno bene acconce, e similmente li gitti, e qualche altro luocho, che lor pareva, e di cènnare suttile con acqua incennerate, ricommettevano le forme e le ritornavano aponto nel lor primo esser, et alfin benissimo le legavano con fili di ferro, e con del medesimo luto le sofregavano.

Et di poi pigliavano di queste XVI o XX pezzi, e rizandole in terrai in una massa, li facevano un circulo di sassi intorno, e coprendo tutte le forme di carbone, le ricocevano.

Et havendo queste ricotte e bene acconcie, et a ogni pezzo una forma fatto un gitto che porgesse il metallo a tutti gli altri gitti de le forme, le representavano al fornello dove tegnevano il rame, e cosí quando cavavano dal forno una o due di quei crogioloni con quel rame tento giallo e benissimo fuso, empivano a una a una, o a due a due, o piú, come li pareva, le masse de le forme, tutte quelle forme che que maestri, che v'ho detto di sopra, formavano, facendo questo il dí come la notte, secondo l'ordine che le materie tente, e ben disposte, li davano occasione, o secondo che havevan de le forme fatte.

Per il quale ordine andai infra me albitrando che sol quella buttiga era bastante non solo a fornir Milano ma a condir tutta l'Italia, e certo mi parse grande e bella impresa a un mercante solo, e che li bisognasse haver gran polso e mantenere vivi, e continuar in tanti belli esercitii quanti in quel luocho io vidi, e certo molto mi piacque quel veder formare tante cose continuatamente, e cosí quel continuatamente gittare. Il che altrimenti non credo che faccino ne la Fiandra, o altri luochi de Alemagna, dove fan candelieri, mescirobbe, e tanti altri lavori, come si vede che fanno, e che tanti da quelle bande ne sonno a le nostre condotte. [76]

La visione piú profonda della tecnica mineraria e siderurgica del XVI secolo, la sua situazione generale ed i suoi problemi generali, ci vengono dati però nel 1556 da Georgius Agricola, medico, umanista e cultore di scienza mineraria della Sassonia. Ma prima di rivolgerci a lui, vogliamo parlare di un altro grande tedesco della prima metà del XVI secolo, Paracelso, contemporaneo di Agricola e di lui piú vecchio di un anno.

Il senso della tecnica

Paracelso, il grande medico e studioso della natura, nel suo lungo vagabondare, fra gente di fonderia e mastri archibugieri, fra alchimisti e coniatori di monete e molti altri artigiani, aveva avuto modo di farsi molte idee sulle diverse attività tecniche. Grande innovatore, pose in primo piano la propria esperienza, contro l'autorità delle credenze tradizionali. Alla chimica, affidata ai medici e quindi innalzata a un rango superiore, attribuiva il compito di separare dalle diverse sostanze i principi attivi per la guarigione degli ammalati; liberò l'antica alchimia dalla strettoia della mera ricerca dell'oro, e la elevò ad attività di modificazione della natura. In tal modo i fonditori di metalli ed i fabbri, i carpentieri ed i mastri costruttori, i farmacisti ed i medici, e gli artigiani, i tecnici, gli artisti, gli scienziati, erano per lui tutti degli alchimisti in senso ampio e profondo, poiché tutti cooperavano con divina potenza al perfezionamento della natura. Di conseguenza la vita attiva, la creazione tecnica, alla quale l'uomo, il Microcosmo, è tenuto per legge divina, aveva per Paracelso il sublime significato di una collaborazione intesa a perfezionare il mondo, il Macrocosmo; questo significato dello studio della natura e del lavoro tecnico ci appare da numerosi passi degli scritti di Paracelso.

Cosí sottile e scaltra è la Natura nelle sue cose, che nulla vuol che s'adopri senza quest'arte; ché niuna cosa dà essa alla luce che sia nel suo stato compiuta, ma all'uomo sta il completarla. Siffatto completamento si chiama alchimia. Epperò l'alchimista è il fornaio, poi che egli cuoce il pane, il vignaiuolo, poi che egli fa il vino, il tessitore, poi che egli fa il panno. E dunque quanto dalla natura cresce a pro dell'uomo, colui che ciò porta a quel fine che dalla natura fu preordinato, quello è un alchimista. Ora dunque vi è nota quale sia la differenza che arreca quest'arte, poiché nello stesso modo che se uno prendesse una pelle di pecora e la mettesse tal quale a guisa di man-

tello o di veste, rozzo e maldestro apparirebbe a petto d'un pellicciaio o d'un fabbricante di panni: similmente rozzo e maldestro, o anche piú, sarebbe quello che dalla natura alcuna cosa avendo, la stessa non approntasse per l'uso. [77]

Dio disse "sia fatto," e ogni cosa fu fatta, ma non l'arte, non la luce della natura. Quando però Adamo fu dal paradiso cacciato, allora Dio pose in lui la luce della natura, poiché con fatica si nutrisse con il lavoro delle proprie mani ed anche in Eva la sua luce, cioè "tu con dolore partorirai i tuoi figli." E con questo divennero le creature del tutto terrene ed umane, laddove prima erano d'uguale natura angelica. E dunque apprese Eva ad allevare i figliuoli, e quindi sorse il cullare e il poppare. E come era stata efficace la parola "sia fatto," cosí fu efficace la parola della luce, che tale all'uomo abbisognava, e la sua ragione e intelligenza di tanto gli è d'uopo quanto il suo corpo, di cui non v'era bisogno in paradiso. E quindi fu fatta la creazione nell'interno dell'uomo, dopo che egli uscí dal paradiso.

Ora altro non v'è da sapere, se non come maravigliosamente le membra tutte, che dalla prima creazione ebbimo, divennero quindi acconcie per tutte queste cose. Ma la conoscenza non era ancora in Adamo, cosí com'è divenuta necessaria per l'uomo, ma gli venne dopo la cacciata dal paradiso. Allora ha egli ricevuto dagli angeli la loro scienza, ma non tutta: bensí ad imparare nella luce della natura per sé e i figli suoi, ciò che è in tutte le cose, e quanto ne viene che in esse è nascosto. Cosí fu fatto l'uomo intero, con il corpo ma non con l'arte, bensí questa gli fu data ma non in esso scoperta, ma con lo studio ottenuta. [78]

Dio ... vuole che noi l'opra non la lasciamo tale, ma che indaghiamo e studiamo, perché essa sia cosí stata fatta. Quindi possiamo studiare e dedurre perché sia la lana acconcia per le pecore, e le setole per il dorso dei maiali, e possiamo ogni cosa portare là dove si conviene e cucinare i cibi crudi, che cosí assai di piú piacciano, e farci ricoveri per l'inverno e tetti per la pioggia... [79]

...E come dal nulla fino al suo compimento tutte le cose sono state create, cosí non v'è cosa che esista che proprio sia al suo compimento, cioè è al suo compimento, ma non proprio al suo compimento ultimo, ché Vulcano deve compirla. Cosí son state create le cose come noi le abbiamo nelle mani. Il legno cresce al suo fine, ma non diventa carbone o ceppo; l'argilla cresce ma non diventa pentola; e cosí con ogni crescita, perciò riconoscete [l'opera di] Vulcano.

E con un esempio: Dio ha creato il ferro ma non ciò ch'esso

deve divenire; cioè non ferri da cavallo, non sbarre, non falci, ma solo minerale di ferro e come minerale a noi lo dà. Comanda quindi al fuoco ed a Vulcano, ch'è signore del fuoco. Ne segue che Vulcano lo domina, epperò giusta è l'arte: che se non fosse giusta non vi sarebbe bisogno di Vulcano. Ora da ciò segue che primamente dev'essere il ferro separato dalla scoria, e quindi se ne deve forgiare ciò che si vuole. Questa è alchimia, questo è il fonditore che si chiama Vulcano: ciò che fa il fuoco è alchimia, anche nella cucina o nel forno; e chi il fuoco comanda, sia il cuoco o il fornaio, è Vulcano. Cosí è pure del farmaco, che è sí creato da Dio, ma non pronto e compiuto, bensí nascosto nella scorza. Conviene ora a Vulcano di separare la scorza dal farmaco; e come avete capito per il ferro, cosí è per il farmaco. Ciò che l'occhio vede nella pianta o nella pietra o nell'albero non è il farmaco ma la sua scorza; l'occhio vede solo la scorza, dentro però, sotto la scorza sta il farmaco. Ora conviene per primo togliere al farmaco la sua scorza, cosí da averne il farmaco. Questa è alchimia e questo è compito di Vulcano...

...Tutte le arti sono nell'uomo; .... cosí v'hanno alchimisti di metalli, alchimisti che trattano i minerali, che preparano l'antimonio, lo zolfo, il vetriolo, il sale. Impara quindi a conoscere cosa sia l'alchimia: essa non è che l'arte di render puro con il fuoco ciò che sia impuro; sebbene non tutti i fuochi fiammeggino, il fuoco resta pur sempre fuoco. Cosí v'hanno gli alchimisti dei legni, cioè i carpentieri, che preparano il legno per costruirne le case; cosí gl'incisori, che tolgono al legno ciò che conviene, traendone immagini. Cosí pure v'hanno gli alchimisti della medicina, che dal farmaco tolgono ciò che farmaco non è. Ora quindi vedete quale arte sia l'alchimia; essa è quell'arte che toglie l'inutile dall'utile... Iddio ha dunque provveduto; ... quanto Dio non ha fino al compimento creato, spetta ai Vulcani di portare a termine e non di fondere insieme il ferro con le scorie. Vi sia ciò d'esempio: il pane ci è stato creato e dato da Dio, ma non come si compra dal fornaio; sono bensí i tre Vulcani, il contadino, il mugnaio e il fornaio, che ne traggono il pane. [80]

Non fummo noi all'inizio creati per il lavoro, ma con la cacciata [dal Paradiso] esso ci fu comminato. E Dio ce l'ha imposto con l'angelo che dice "nel sudore della tua fronte mangerai il pane," cioè guadagnerai, cioè "con e per il tuo lavoro ti darai sostentamento nella miseria e nel dolore quotidiano." [81]

La tecnica artigiana e mineraria tedesca

Se pure Paracelso dava un significato cosí profondo al lavoro tecnico, e fra questo anche all'attività dei minatori e dei fonditori, tuttavia gli ambienti piú colti del suo tempo in generale non condividevano affatto tale opinione. Georgius Agricola, un altro multiforme genio rinascimentale, che uní alla cultura umanistica uno spirito diretto ad una positiva concezione della natura ed all'attività tecnica pratica, nella sua vasta opera *De re metallica*, del 1556, rappresentò il lavoro minerario e siderurgico del suo tempo, particolarmente sviluppato nella sua patria, e trovò necessario cominciare con un'apologia del lavoro nelle miniere.

Molti sono dell'avviso che l'estrazione dei minerali sia un'attività non sistematica, un compito sporco, e soprattutto un lavoro che non richiede tanta arte e scienza quanta fatica corporale. Ma per quel che a me mi sembra, a esaminarne colla ragione le varie parti, la cosa sta in modo del tutto diverso; poiché il minatore deve possedere nella sua arte la piú vasta esperienza, sí da sapere con certezza quale monte o collina, quale luogo di valle o di pianura possa venir utilmente scavato, o se si debba rinunciare alla miniera. Pertanto gli debbono esser noti i percorsi del minerale, le spaccature ed i ricoprimenti delle pietre. Egli deve bene conoscere i molti e diversi tipi del terreno, le specie delle soluzioni e delle pietre preziose, di quelle comuni e del marmo, delle rocce, dei metalli e delle loro mescolanze, nonché la specie e il modo di ogni opera che sia da farsi sottoterra. Nota gli dev'essere infine l'arte di esaminare ogni sorta di materiali e di prepararli per la fusione... Ancora deve il minatore possedere molte nozioni e qualità...

Ha regnato sempre fra gli uomini una grande disparità di opinioni sull'arte mineraria, in quanto taluni altamente la lodavano, gli altri aspramente la biasimavano. Mi è sembrato quindi bene... esami-

nare con cura la cosa, onde ricavare la verità... Chi è del parere che la scienza mineraria non frutti nulla a chi vi si dedica con tanta diligenza, dice soprattutto che appena la centesima parte di coloro che scavano minerali o che comunque con ciò hanno a che fare, ne ricavano guadagno; anzi i minatori, che affidano tutti i loro sicuri e ben riposti averi ad una ingannevole e malsicura speranza di fortuna, vengono per lo piú delusi e traditi in tale loro speranza e, rovinati dalle spese e dalle perdite, finiscono per condurre al fine una vita amara e miserevole. Ma chi cosí pensa non vede quanto sia diverso un minatore sapiente e sperimentato da uno ignorante e inesperto. Questi costruisce gallerie senza esame e discernimento, quegli invece prova e tenta dapprima, e quando trova che troppo sono strette o troppo dure o troppo lente e sorde, cosí conclude che quelle non sono da continuare con utilità: egli procede dunque con conoscenza...

Affermano pure i suddetti denigratori dell'arte mineraria il guadagno che essa frutta non esser costante, e massimamente lodano l'agricoltura. Con che ragione possan dire questo, non so io capire, vedendo come le miniere d'argento di Freiberg durino ancora, inesauste, da quattrocento anni, e quelle di piombo di Goslar da seicento. Di entrambe si può ricavare la storia da monumenti. A Schemnitz e Kremnitz però le miniere d'oro e d'argento durano già da circa ottocento anni; ciò confermano i piú antichi previlegi dei proprietari...

Afferma poi l'oppositore che è pericoloso dedicarsi all'estrazione dei minerali, poiché i minatori ora sono uccisi da miasmi letali, che essi nelle cave respirano, ora dimagrano per la polvere che entra in loro e che fa suppurare i polmoni, ora restano vittime di sciagure, sepolti dalla rovina del monte, ora nella discesa dei pozzi cadono e si rompono le braccia, le gambe o il collo: non si dovrebbe tenere in cosí alto conto nessun utile economico, che possa valere a mettere talmente a repentaglio la vita e la salute degli uomini. Tutto ciò, come di buon grado riconosco, è di gran peso e comporta pericoli e timori. Cosí sentenzierò: Per evitare ciò, non si eseguano lavori in miniera; ciò però se i minatori sono grandemente esposti a questi pericoli o se essi non hanno alcun mezzo per difendersi da essi. O che non deve la vita essere piú importante anche del tentativo di possedere tutti i tesori del mondo, non che i soli metalli? Certo di uno che cosí pagasse con la vita, non si potrebbe piú dire che possieda alcunché, sí che lasci alcunché agli eredi. Ma poiché tali casi occorrono di rado e soltanto a coloro che sono imprudenti, cosí i minatori non abbandonano il loro lavoro, come i carpentieri non si spaventano del loro

quando uno di essi cade da un'alta costruzione e rende l'anima a Dio...

Ora vengo a coloro che affermano che l'arte mineraria non giova alla restante parte degli uomini, perché i metalli e le gioie e le pietre, che si scavano dalla terra, non sono per essi d'utilità. Essi si sforzano di appoggiare tale affermazione sia con esempi e dimostrazioni sia con ingiurie. Essi si servono però anzitutto del seguente ragionamento: la terra non nasconde e non sottrae all'occhio, ma come una buona madre e benefattrice spende di suo con gran liberalità e porta alla luce del giorno e degli occhi erbe, bacche, frutta e messi. Invece ha nascosto nel grembo le cose, che bisogna scavare per ottenere, e quindi queste non si dovrebbero estrarre... Il loro secondo ragionamento è questo: i metalli non portano all'uomo nessuna fruttifera utilità, perciò non dovremmo ricercarli; poiché ogni uomo è fatto di corpo e anima, né l'uno né l'altra hanno bisogno di quelle cose che si traggono dalle miniere...

Oltre a ciò essi portano il seguente ragionamento: lo scavare per cercare i minerali porta alla devastazione dei campi; perciò una legge doveva un tempo provvedere in Italia a che nessuno per trovar minerali scavasse la terra e rovinasse quei campi fiorenti e i vigneti e i frutteti. I boschi e le selve vengono tagliati, perché gran copia di legno abbisogna per far gli edifici e gli attrezzi come pure per sciogliere i minerali. Ma con l'abbattere i boschi e le selve vengono sterminati gli uccelli e gli altri animali, moltissimi dei quali servono all'uomo come cibi eccellenti e graditi. I minerali vengono lavati, ma con questo lavaggio, che avvelena i fiumi e i ruscelli, i pesci vengono allontanati od uccisi. Poiché quindi gli abitanti di tali regioni, a seguito della devastazione dei campi, dei boschi, delle selve, dei ruscelli e dei fiumi finiscono in grande disagio per procurarsi le cose di cui hanno bisogno per la vita, e poiché devono sopportare grandi spese per costruirsi una casa a motivo della mancanza del legno, risultò cosí chiaramente dimostrato che la ricerca dei minerali comporta assai maggior danno, di quanta non sia utilità nei minerali stessi che si possono ricavare... Vengono quindi ingiuriati i metalli stessi. Dapprima infatti gli oppositori denigrano l'oro e l'argento e li definiscono entrambi infami e malsani distruggitori del genere umano, poiché quelli che li posseggono stanno in grande pericolo e quelli che ne mancano insidiano i possessori, e sono stati quindi entrambi spesso causa della loro rovina... E appresso insultano molto gli altri metalli, ma soprattutto il ferro. Ché questo ha fatto all'uomo maggior danno: con esso si fanno le spade, le lance, i giavellotti, le alabarde,

le freccie, con le quali l'uomo ferisce e dà la morte, compie guerre e rapine... E un proiettile lanciato può colpire il corpo d'un solo uomo, anche s'è un dardo, lanciato da un arco o da uno scorpione o da una catapulta: ma la palla di ferro d'archibugio [bombarda] può passare per il corpo di molti uomini, una volta sparata, e non v'è roccia o marmo cosí duro che essa con la sua forza e il suo urto non penetri. Cosí essa rade al suolo le piú alte torri e spacca le mura piú solide, fa breccia in esse e le abbatte... Poiché però oggigiorno gli archibugi che si possono portare in mano, e non mai quelli grossi, raramente son fatti di ferro, anzi di una mescolanza di rame e stagno, cosí essi insultano ancor piú del ferro il rame e lo stagno...

Eppure l'uomo non può fare, senza i metalli, quelle cose che gli necessitano per sostenersi e vestirsi. In primo nell'agricoltura, la quale assicura la massima parte del necessario al nostro corpo, nessun lavoro si può intraprendere o compiere senza arnesi... Ma occorrono altre parole? Se i metalli scomparissero dall'uso degli uomini, verrebbe tolta ogni possibilità di proteggere e di mantenere la sanità del corpo cosí come di condurre la vita secondo la nostra civiltà...

Ormai posso rispondere ai rimproveri che s'elevano contro i prodotti delle miniere. Cosí per prima cosa son detti l'oro e l'argento rovina dell'umanità perché essi sarebbero causa di rovina e di morte ai loro possessori. Ma quale cosa che possediamo non potrebbe venir chiamata rovina dell'uomo?... Epperò i discorsi denigratori che vengono fatti contro al ferro, al rame o al piombo, non possono fare alcuna impressione sull'uomo saggio e ragionevole. Ché se quei metalli scomparissero, ugualmente gli uomini si accenderebbero d'ira e nella rabbia sfrenata lotterebbero come gli animali con i pugni, le unghie e i denti... E quindi vediamo che non son da rimproverare i metalli, ma i nostri vizi, l'ira, la crudeltà, la discordia, la sete del potere, l'avidità, la lussuria... Ma qui è da farsi la questione se dobbiamo annoverare fra le cose buone o fra le cattive ciò che noi caviamo dalla terra... Gli uomini buoni infatti ne fanno buon uso, e a loro esse son d'utilità, cattivo uso invece i cattivi, e a loro sono inutili... Perciò non è giusto ed equo privarle della dignità e del decoro che esse acquistano presso ai buoni. Se uno però le usa male, pure esse non verranno ancora a ragione dette cattive. Poiché quali cose buone non possiamo adoperare ugualmente nel bene e nel male?...

Dopo aver cosí ribattute le ragioni e le obiezioni degli oppositori, tratteremo del lato utile dell'estrazione dei minerali. Dapprima essa è utile ai medici, ché fornisce una serie di farmaci con i quali si è so-

liti curare ferite e piaghe e perfino la peste. Pertanto già per la sola arte medica dobbiamo scavare nella terra, anche se non sussistessero altri motivi per tale ricerca. Quindi essa serve ai pittori, poiché arreca loro le diverse specie di vernici. Quando con queste son le pareti dipinte, son danneggiate dall'umidità meno delle altre. Inoltre l'arte mineraria serve ai costruttori, poiché essa fa ritrovare il marmo, che piú si conviene per edifici di grande durata e robustezza e che serve anche di ornamento e decorazione. Utile è anche a quelli, il cui animo tende a fama immortale; ché essa porta alla luce metalli con i quali si posson far medaglie, statue e altri soggetti che a lato dei monumenti letterari pure donano agli uomini una certa eternità e immortalità. Anche ai commercianti essa è utile; poiché, come ho già detto, le monete coniate col metallo sono per molte ragioni piú comode che non lo scambio delle merci. A chi infine non è essa di giovamento? Nominerò quegli utili oggetti costrutti dagli artigiani cosí piacevoli, pieni di gusto, lavorati con tanta arte, che gli orefici ricavano dall'oro e dall'argento e i fonditori dal rame, dallo stagno e dallo ferro. Quale mai artigiano può senza i metalli creare un'opera bella e compiuta? Se non impiega arnesi di ferro o di rame, non potrà egli far di certo oggetti di pietra né di legno. Da tutto ciò discendono quindi l'utilità e la comodità di cui siamo debitori ai metalli. Ma non disporremmo di questi se non si fosse ritrovata l'arte mineraria e non la si praticasse. Chi dunque non riconosce la sua grande utilità e necessarietà per gli uomini? In breve, l'uomo non ha potuto far a meno di estrarre i minerali, e non ha voluto la bontà divina che egli ne mancasse. Successivamente, si pone la questione se quella mineraria sia una professione conveniente per gente onorata o se essa sia da disprezzarsi come indecorosa. Noi la annoveriamo fra le arti decorose, poiché ogni arte, in cui il modo d'agire non sia contrario a Dio o ripugnante o sporco, possiamo ritenerla decorosa. Cosí è infatti nella miniera e nella fonderia; con essa si accresce l'avere e il possesso in modo buono ed onesto...

Inoltre il lavoro del minatore non è neppure sporco. Come potrebbe esser tale, se è cosí grande, ricco ed onesto?... Infine coloro che parlano con vergogna del lavoro nella miniera e nella fonderia, per diminuirlo, portano l'argomento che, una volta, coloro che avevano compiuto un misfatto erano condannati a lavorar nelle miniere ed a scavare gallerie come schiavi. Adesso però i minatori sono dei lavoranti pagati e pure si occupano come altri lavoranti d'un lavoro sporco. In verità, se il lavoro di miniera non fosse decoroso per un uomo li-

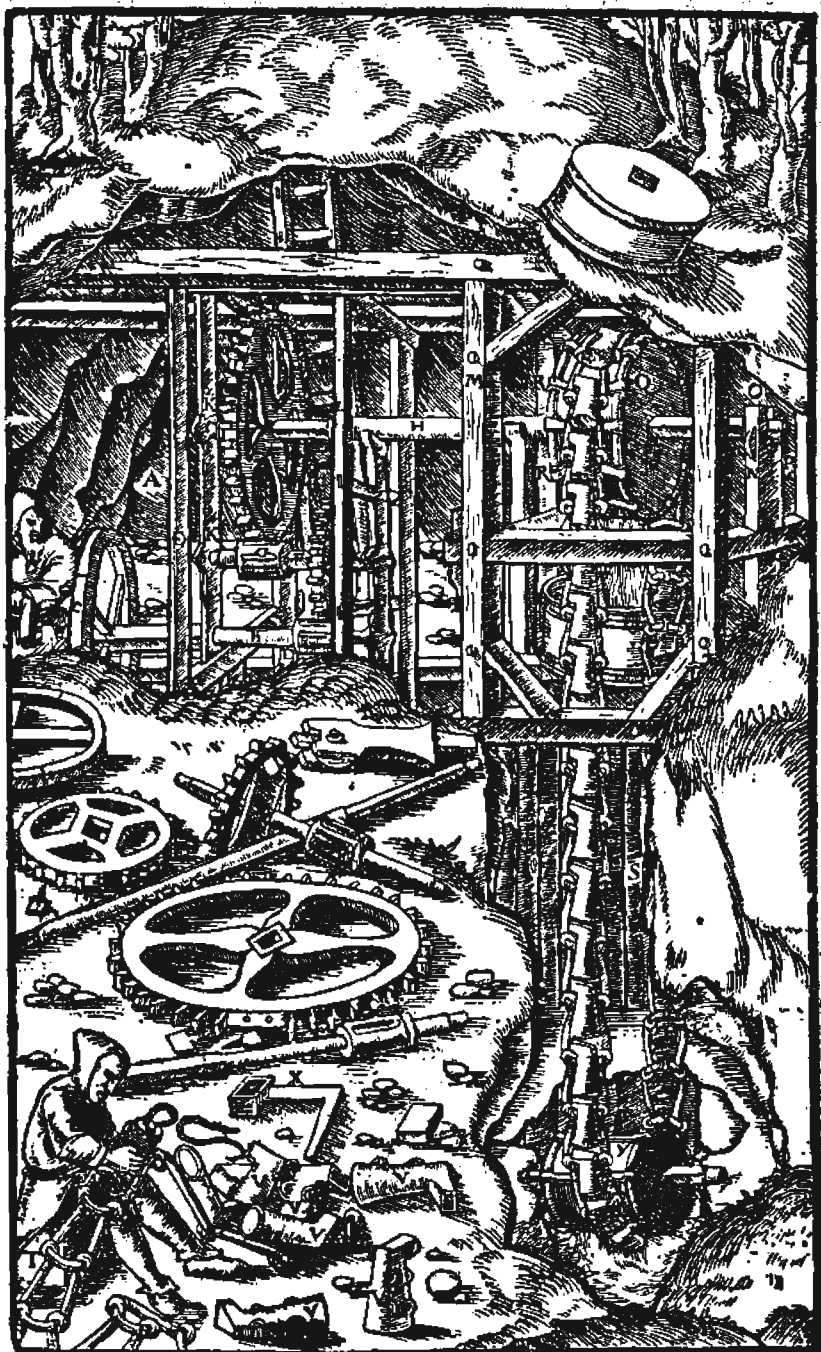



Fig. 40. *Macchina a coppe per sollevamento d'acqua* (azionata a mano). Si osservino i particolari, come p. es. la ruota di ghisa con denti d'acciaio riportati. XVI secolo.

bero, per il motivo che un tempo gli schiavi scavavano le gallerie, anche l'agricoltura non sarebbe allora un lavoro onorato; poiché anche i campi erano un tempo coltivati da schiavi, e tuttora lo sono presso i Turchi, e cosí pure l'arte edile, poiché molti costruttori erano schiavi, e l'arte medica, visto che non pochi medici erano schiavi, e ancora molte altre arti che sono state svolte da prigionieri di guerra. Ma l'agricoltura, l'arte edile e quella medica sono pure annoverate tra le arti onorevoli. Cosí non venga escluso dal loro numero neanche l'arte mineraria. [82]

Malgrado l'esistenza di alcuni oppositori, delle cui obiezioni ci fornisce un quadro l'Agricola, l'attività mineraria si sviluppò grandemente nel XV e nel XVI secolo. Soprattutto la Germania fu il centro di attività tecniche minerarie e siderurgiche (tavv. XI, XII). Fin dal XIV secolo, ma specialmente nel XV e XVI, troviamo esperti minerari tedeschi come istruttori in vari paesi. Quanto piú profondi si scavavano i pozzi delle miniere, tanto piú difficile diventava la lotta contro le infiltrazioni d'acqua, e pertanto gli inventori si preoccupavano di inventare macchine sempre piú efficaci per sollevare l'acqua. In particolare si cercava di avvalersi sempre piú dell'energia idraulica per azionare tali macchine, cosí come si erano sviluppati nelle fonderie mantici azionati da ruote idrauliche di sempre maggiore potenza, secondo quanto abbiamo appreso dal Filarete e da Nicolas Bourbon. Il gigantesco dispositivo di sollevamento a coppe, descritto dall'Agricola, dimostra chiaramente questa tendenza verso macchine sempre piú grandi e potenti (fig. 41). D'altra parte non sempre l'energia idraulica era disponibile proprio là dove si sarebbe voluto utilizzarla per azionare pompe o altre macchine di drenaggio o apparecchi di sollevamento dei minerali. La tecnica del XVI secolo trovò una soluzione per questo problema con il cosiddetto metodo delle aste di trasmissione, con le quali l'energia di una ruota idraulica poteva esser trasmessa a una certa distanza nel fondovalle (tav. XII). Questo metodo, che fu scoperto verso la metà del XVI secolo nell'Erzgebirge e che si estendeva in taluni casi fino a distanze di oltre sette chilometri, svolgeva in qualche modo la funzione delle odierne linee elettriche di trasporto. Il rendimento di questo impianto di trasmissione dell'energia meccanica era naturalmente assai limitato. Accanto alle ruote idrauliche, si adoperavano sempre come motori primi, a parte l'argano a mano, la ruota a peso azionata coi piedi od anche l'argano a cavalli, che fu impiegato nelle miniere a partire dall'inizio del XVI secolo. Il problema fondamentale della tecnica mineraria nell'epoca rinascimentale, come del resto nel XVII ed in parte nel XVIII secolo, resta sempre quello di una pratica effettuazione del drenaggio dell'acqua, come ci testimoniano anche i previlegi d'invenzione dell'epoca. Nelle fonderie, come pure possiamo dedurre dai previlegi d'in-

venzione, si ricercava sempre piú il consumo del carbone di legna come combustibile.

L'attività mineraria e siderurgica, fiorente fin dal Medioevo come abbiamo visto nell'Agricola, subí tuttavia un lento declino a partire dalla

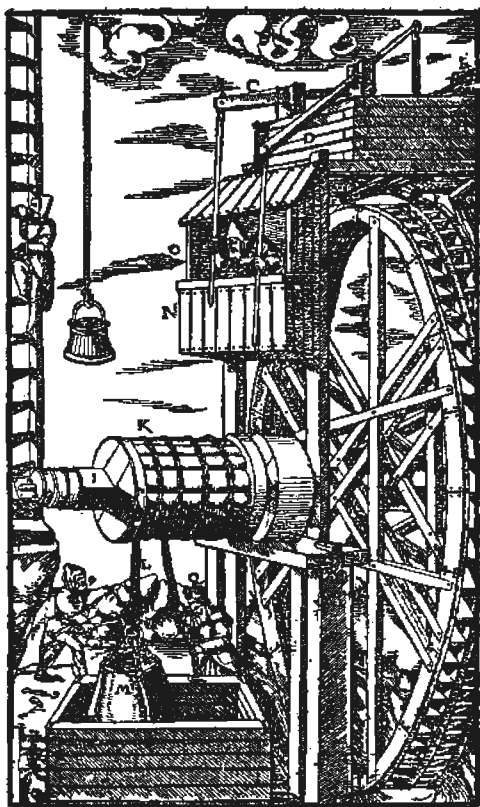



Fig. 41. *Dispositivo a coppe per sollevamento d'acqua.* Diametro della ruota m 10,70. XVI secolo.

metà del XVI secolo, per il cambiamento delle vie di traffico determinato dalle scoperte geografiche, per l'importazione di metalli dall'America, ed infine anche per lo sviluppo dell'industria siderurgica in Inghilterra. Anche la vita professionale nelle città della Germania e dell'Italia risentí dei rivolgimenti economici che seguirono all'epoca delle scoperte geografiche. A ciò si aggiunge che le arti e le corporazioni (qualunque sia stata la loro importanza non solo come raggruppamenti economici ma anche come comunità

di educazione e di vita) finirono in qualche caso per ostacolare il progresso tecnico. Non va taciuto a tale proposito che molte significative scoperte furono dovute all'artigianato rinascimentale, fortemente specializzato: basterà ricordare la morsa (1500 circa), l'orologio da tasca (1510) e il perfezionamento del tornio (1561). Ora, proprio l'esistenza delle corporazioni poneva dei limiti allo sviluppo di molte invenzioni. Hans Spaichel, di Norimberga, aveva inventato nel 1561 un modello perfezionato di tornio con portautensile. Il consiglio municipale di Norimberga nel 1578 ordinò la distruzione di una macchina di questo genere perché Spaichel la voleva vendere ad un orefice: Spaichel apparteneva infatti alla corporazione dei maestri tornitori di metalli, che producevano oggetti torniti di rame ed ottone, ed era proibito trasferire qualsiasi nuova scoperta a una suddivisione artigianale diversa da quella cui si apparteneva. Anche un certo Wolf Dibler, un altro mastro tornitore di metalli, che pure aveva costruito nel 1590 un tornio di nuovo tipo per il famoso orefice Hans Petzold, fu imprigionato per alcuni giorni in una torre. I seguenti estratti dalle Decisioni del Consiglio di Norimberga valgono ad illustrare tale stato di cose:

2 maggio 1559. Informarsi sul cittadino Hans Spaichl, mastro tornitore di metallo, che è un cosí buon mastro, dove intende trasferirsi e cosa fa e come intende sostentarsi, e riferire.

8 maggio 1559. Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, intende trasferirsi nel Braunschweig, e siccome è un siffatto artista, non è bene lasciarlo andare; egli si è anche offerto di restar qui, se gli si dà una paga da mastro archibugiere e se gli si concede di possedere un tornio di quelli di Herlin. Bisogna informarsi se egli sa sparare con grossi pezzi, quanto prendeva il padre suo come mastro archibugiere e come è un tornio di quelli di Herlin, e riferire.

10 maggio 1559. Si deve dare ufficialmente incarico a Michl Kurzen, fabbro ramaiolo, di cedere a Hanns Spaichl quel tornio che gli è superfluo, e riferire se lo vuol fare, e decidere quale paga da mastro archibugiere si vuol dare a lui, Spaichl.

1° giugno 1559. Rifiutare al supplicante Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, la sua richiesta per un maggior compenso.

12 luglio 1560. Rifiutare al supplicante Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, il prestito richiesto.

31 maggio 1561. Si deve richiedere a Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, di lasciar ispezionare la ruota del suo tornio dai tecnici, e come ripararla, cosí da rimetterla in uso. Inoltre si deve anche vedere a cosa serve e quanto può valere il tornio offerto, e riferire.

4 giugno 1561. Il tornio deve essere acquistato da Hanns Spaichl

per 60 f. ed essere messo in custodia, e che non costruisca piú siffatti torni senza il permesso dei Signori Consiglieri. Inoltre gli si faccia fare un campione di un tornio, come si è offerto, e riferire.

1 ottobre 1561. Ad Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, dietro sua supplica, concedergli in prestito i richiesti 10 f., a ciò che possa completare il tornio a mano iniziato, e passar l'ordine alla cassa.

20 maggio 1562. Ad Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, si devono versare i 10 f. a lui concessi in prestito per la costruzione del tornio dai Signori Consiglieri, e dirgli che può vendere lo stesso tornio a chi vuole, al piú alto prezzo che potrà.

30 maggio 1562. Ad Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, concedere ancora 15 f. per la costruzione del suo tornio e dirgli di vendere tale tornio quanto meglio potrà.

7 luglio 1562. Le cinque persone nominate e gli operai assunti dal mastro svevo, si devono lasciar trasferire, ma dire loro ed imporre di rinunciare ai loro diritti borghesi e di prendere con sé moglie e figliuoli. Ma Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, si dovrà avvisare tramite un intermediario e fare in modo che egli possa essere qui trattenuto, e riferire.

7 luglio 1562. Ad Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, su sua richiesta e impegno scritto che servirà per tutta la vita i Signori Consiglieri, dare per il futuro 24 f. di pensione come mastro archibugiere e dirgli che cerchi come possa ancora vendere quanto meglio può il suo tornio; se egli ugualmente ne patisca un sensibile danno, che si accontenti di quello che ha ricevuto.

9 luglio 1562. Il cittadino Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, non riesce a vendere il suo tornio; lo si deve far comprare tramite un intermediario per 200 f. e vedere come si possa ancora rivendere tale tornio.

8 giugno 1569. Il modello di tornio di Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, si deve mettere in mostra nei locali municipali; inoltre si deve spiegare perché di recente abbia lasciato la sua opera e perché gli sia data una pensione.

9 giugno 1569. Si deve dare in cura ad un tecnico intenditore il tornio di Hanns Spaichl.

15 giugno 1569. Si deve mostrare a Hanns Spaichl, mastro tornitore di metallo, il grave dispiacere dei Signori Consiglieri, che egli malgrado la sua promessa faccia ancora altri modelli e campioni di torni. Peraltro hanno deciso i Signori Consiglieri di non lasciar portar via tale campione, ma di trattenerlo in loro mano. Sentire la sua

risposta e riferire.

16 giugno 1569. Dietro rapporto e relazione scritta di Hanns Spaichl, fargli leggere questa e dirgli che i Signori Consiglieri sono dispiaciuti che egli non compia a regola il suo lavoro e non attenda alla sua opera, come gli sarebbe d'uopo, e neanche vogliono lasciarli portar fuori, e non gli conviene di condurre tale arte, che finirebbe a danno della città, cosí vogliono trattenerli nelle lor mani. Spetta quindi a loro decidere che cosa fare.

21 giugno 1569. Si dovrebbe dietro richiesta di Hanns Spaichl visitare il modello del tornio ed ordinargli di consegnare al municipio anche il tornio a cavallo e quello a mano.

4 luglio 1569. Si deve ricordare a Hanns Spaichel che si è poco *tempo fa trattato con lui per i campioni precedenti e siccome lui ha* fatto presente che questi campioni devono star inoperosi, gli si è concesso uno stipendio. Ma i Signori Consiglieri hanno dovuto constatare che egli ha continuato a produrre questi modelli con danno per il comune, dato che non ce n'era bisogno qui. Per evitare però che egli avesse danno da ciò, si voleva agevolarlo e tenerli qui, con la condizione che egli si impegnasse di non produrne piú, perché ciò comporterebbe un danno per il comune.

4 luglio 1569. Dare ad Hanns Spaichel, dietro sua richiesta, 300 f. per il modello della macchina, somma che corrisponde al costo proprio della stessa e comunicargli che i Consiglieri pensano di rompere questo modello. Egli d'altra parte dovrebbe impegnarsi a fare il suo mestiere e ad effettuarlo come tutti gli altri maestri, e lavorare, e per tutta la sua vita non piú effettuare altri mestieri, modelli o campioni di macchine, per la qual cosa si voleva compensarlo con 100 f. Se però egli desiderava di vendere il suo tornio a cavallo, si voleva permettergli anche questo e anche di costruire una macchina a cavallo per le officine di Harssdorfer, senza però aggiungere altri torni del genere.

6 luglio 1569. Si dovrebbe concedere a Hanns Spaichel, mastro tornitore di metallo, dietro sua ulteriore richiesta, 100 f. per il modello del suo tornio e prestargli 150 f. per il pagamento dei suoi debiti in tale modo: aumentando di 20 f. il suo stipendio annuale di mastro archibugiere, cioè dargli 40 f. all'anno, però detrarre ogni anno 20 f. dei 150 f. Il denaro non deve però essere consegnato nelle sue mani, ma ad una terza persona, e cioè al funzionario di protocollo il quale dovrebbe trattare attentamente con i creditori e provare a diminuire la somma. Prima però di lasciar uscire il denaro, si deve

emettere un documento e fargli giurare.

14 marzo 1571. Per quanto riguarda la richiesta di Erhart Scherl, orefice, di farsi fare un tornio da Hanns Spaichel, si deve sentire il parere dei tornitori giurati, se sia uno svantaggio per il comune, quando questo tornio lasci la città.

24 marzo 1571. Essendo i tornitori giurati di parere contrario, si deve rifiutare la richiesta per il tornio di Erhart Scherl.

5 febbraio 1578. Per quanto riguarda l'informazione del tornitore di metallo Sebald Kurtz, che Hanns Spaichel ha malgrado il divieto costruito un nuovo tornio e venduto lo stesso a Strauben, orefice, si dovrebbero citare Spaichel e Strauben e farli giurare quanto è del vero di questa macchina e dove sia andata a finire.

7 febbraio 1578. Sulla base delle dichiarazioni di Christof Straub e Hanns Spaichel si deve fare vedere ai tornitori giurati la macchina citata, e far constatare se questa fosse un danno per l'artigianato, e riferire.

10 febbraio 1578. Sulla base del rapporto scritto dei tornitori e dei fabbri giurati, si deve prendere la macchina costruita da Hanns Spaichel, pagargli cinque guldi e fargli giurare di non farne piú un'altra senza che ne siano informati e diano il loro permesso i Signori Consiglieri, e quindi rompere la macchina.

13 dicembre 1578. In base alla dichiarazione scritta dei tornitori giurati, che Hanns Spaichel il giovane, tornitore di metallo, — che è stato parecchio tempo fuori città ed è ritornato solamente tre settimane fa — si è permesso e ha dato aiuto per provvedere il tornio di quelli di Steyr, che non funzionava, degli utensili necessari, come bossoli, spine, ed altri accessori, in modo che fosse montato e funzionante, si deve ordinare a Spaichel e fargli giurare sotto ogni circostanza di dire come stanno le cose con questo tornio, chi gli ha dato ordine di ripararlo, cosa ne ha fatto, chi lo ha aiutato e cosa ha ricevuto in compenso del suo lavoro e anche in quale misura si fosse impegnato di ritornare. Deve promettere di non allontanarsi né di allontanare i suoi beni, fino che non ha ricevuto un permesso in proposito.

15 dicembre 1578. Si deve mostrare la difesa scritta di Hanns Spaichel il giovane, ai giurati della corporazione dei tornitori di metallo e prendere nota della eventuale richiesta contro Spaichel e sottoporla ai Signori Consiglieri. Tener sotto promessa Spaichel e siccome verrà fra poco Hans Winckler, il fornitore di Steyr per acquistare alcune cose, dire ai giurati, di stare attenti che Spaichel non

tratti cose che potrebbero essere di svantaggio e danno per l'artigianato.

16 dicembre 1578. Dopo l'ulteriore rapporto dei giurati della corporazione dei tornitori di metallo sul conto di Hanns Spaichel il giovane, tornitore di metallo, si deve impegnare nuovamente Spaichel e fargli giurare di non allontanarsi mai piú senza permesso e senza aver informati i Signori Consiglieri.

4 luglio 1581. Siccome Hanns Spaichel, garzone tornitore di metallo e figlio di un mastro di questa città, sembra abbia comunicato certe cose come con che utensile deve essere fatto l'uno e l'altro, a un fabbro di Steyr, che ha aiutato a mettere in funzione il nuovo tornio, si deve metterlo in carcere e fargli una reprimenda e poi chiamare suo padre e fargli giurare e chiedergli se era al corrente della faccenda del figlio e se lo aveva aiutato.

24 dicembre 1590. Dopo la conclusione degli onorevoli Consiglieri, pensare cosa sarebbe da fare per la lite fra i tornitori di metallo e Hans Betzold (Petzold), orefice per il suo nuovo tornio, e cosa è da fare nel futuro con simili torni e costituire un consiglio, per evitare che tali e simili vantaggi o arti di torni non divengano troppo comuni, e soprattutto che non vengano portati fuori di questa città e in un'altra, come è stato fatto piú di una volta; far venire il Betzolt e fargli giurare di mettere il tornio — che si trova in suo possesso — in una cassa o altrimenti di usare in tal modo che non possa essere visto, né dai suoi dipendenti, né da altre persone, che non lo lasci usare a nessun altro che la sua propria persona. Inoltre sono da chiamare tutti i tornitori di metallo di qui e debbono giurare di non usare tali macchine o torni né a mano né ad acqua, di non costruirli e neanche aiutare con il consiglio o il lavoro nessun altro, se non con il permesso del Consiglio, altrimenti sarebbero seriamente puniti per spergiuro. Inoltre proibire a tutti gli orefici e altri cittadini e abitanti di questa città che hanno bisogno per il loro mestiere o per la loro arte di speciali torni, di costruire o far costruire tali macchine, con punizione di 50 f. a meno che essi non ne facciano prima richiesta al Consiglio o ai Signori deputati per apprendere con quale vantaggio e a mezzo di chi verrebbe fatto e se questo risulterebbe senza svantaggio per gli altri artigiani o per il Comune, e nel caso che qualcuno si mostrasse pericoloso e disubbidiente, un onorevole consiglio sarebbe pregato di punire tale persona oltre che con la summenzionata multa, anche con pena corporale. E siccome Wolf Dibler, tornitore di metallo, ha eseguito la vite o guida al Betzolt come suo principale pezzo e ha inoltre consigliato come deve far funzionare il tor-

nio e come lavorare cogli utensili e con ciò ha lavorato contro la sua corporazione, deve essere rinchiuso per otto giorni in una torre.

15 gennaio 1591. A Wolf Dibler, mastro tornitore di metallo, che è stato punito corporalmente col rinchiuderlo in una torre, ove ha già trascorsi quattro giorni, poiché ha da finire del lavoro assai necessario per il principe elettore di Sassonia, si devono condonare i restanti quattro giorni dietro pagamento di una cauzione. [83]

La scienza dell'epoca rinascimentale riscoprí, come abbiamo detto, le opere di meccanica di Archimede, di Erone, di Pappo, e i *Problemi di meccanica* pseudo-aristotelici. Riallacciandosi all'antichità classica ed in parte anche al tardo Medioevo, nella seconda metà del XVI secolo, cercarono di sviluppare ulteriormente la statica gli italiani Gerolamo Cardano, Federico Commandino, Guidobaldo del Monte e Giambattista Benedetti, quest'ultimo allievo del Tartaglia, tutti precursori immediati di Galileo, e l'olandese Simon Stevin, matematico, fisico e tecnico.

Guidobaldo del Monte, come il Commandino, proveniva da Urbino, città particolarmente famosa per l'unione in essa realizzata degli studi matematici con quelli umanistici e per la sensibilità in essa diffusa per i problemi tecnici; universalmente noto come precursore di Galileo, scrisse nel 1577 un'opera sulla meccanica in cui migliorò la teoria delle macchine elementari, e cioè la leva, il rullo, la puleggia, il cuneo e la vite. Applicò pure con successo allo studio della leva, della puleggia e della carrucola il principio generale delle velocità virtuali, già accennato nei *Problemi di meccanica* pseudo-aristotelici. Nei suoi studi sulla statica, Guidobaldo si rifaceva sia ad Archimede, sia ai *Problemi di meccanica* pseudo-aristotelici, e non ha molta importanza il fatto che Archimede e i *Problemi* coltivassero la meccanica in modo essenzialmente diverso (cfr. p. 4). La trattazione generale della statica in senso pienamente euclideo è un'eredità di Archimede. La concezione di Guidobaldo, che l'impiego tecnico delle macchine semplici costituisca un fatto diretto contro la natura, una astuta sopraffazione della natura, è ispirato ai *Problemi* pseudo-aristotelici. Questo concetto fu superato in breve volger di tempo, come vedremo studiando Francesco Bacone (cfr. p. 183) e Galileo.[12] Leggiamo ora alcuni passi relativi all'impiego tecnico della meccanica, dalla prefazione ai *Mechanicorum libri VI* di Guidobaldo del Monte, apparsi nel 1577.

Due qualità, che piú delle altre son solite valere presso agli uomini per la conquista della ricchezza e di molti beni, e cioè la Utilità

e la Nobiltà, sembrano aver insieme concorso e cospirato ad adornare la disciplina meccanica, ed a farla amare da molti. Ché se noi ne vogliamo dedurre e valutare la nobiltà dalla sua prima nascita ed origine (come a questi giorni si vuol fare dai piú), incontriamo da una parte la Geometria e dall'altra la Fisica, dal cui armonico congiungimento e dalla cui concorde comunione viene infine alla luce la piú nobile di tutte l'arti, quella della Meccanica. La piú nobile, dico, avendo considerazione sí bene delle materie trattate, come della necessità degli argomenti suoi, come appare in un passo essere l'opinione di Aristotele. Poi che non solo (come testimonia Pappo) essa porta la Geometria alla sua intera perfezione e compiutezza, ma anche regna e comanda con pieno potere sulle cose fisiche e sulle cose naturali; ché tutto quanto è d'aiuto e conforto agli artigiani, ai costruttori, ai contadini, ai marinai ed a tant'altri (anche contro alle leggi della natura), tutto rientra nel regno della meccanica, ed è sottoposto a questa nobile arte. E però colui che i suoi molteplici dispositivi potentemente adopra contro alla natura, pure la va imitando. Ed è quindi degno della maggior meraviglia, ma pure vero e facilmente credibile a chi, avendolo appreso in prima da Aristotele, lo afferma, che ciascuno e tutti i problemi e i teoremi meccanici possono essere acconciamente ridotti alle macchine rotonde, e son fondate sul principio, ben concepibile dalla mente come pure apparente ai sensi esteriori, che dice: *Rotunda machina est moventissima, et quo maior, eo moventior* [una macchina rotonda si muove velocissimamente, e quanto piú è grande tanto piú velocemente si muove]...

E quindi con il tempo ha intrapreso la Meccanica... a spinger l'aratro per i campi; con carri e carrette a trasportar viveri e merci e ogni sorta di pesanti carichi fra i popoli vicini ed a recarci dai loro luoghi il nostro bisogno. Inoltre, poiché ormai l'uomo non considerava solo il mero bisogno, ma anche l'ornamento e la comodità, si deve pure ascrivere all'acutezza della macchina, che essa ci abbia indicato come spingere una nave con i remi e come mediante un timone piccolo e modesto (secondo l'opinione) siano da dirigere e condurre magistralmente pesanti navi da carico. Come ancora si possano levare in alto e recare agli operai con una sola mano (anziché con molte) grandi e pesanti pietre, travi e legni da costruzione. Come sollevar l'acqua da pozzi profondi, per tener umidi pascoli, giardini e simili. Come spremere il vino, l'olio e ogni sorta d'altri utili liquori, a vantaggio del padrone. Come si possa con due leve messe per dritto e per contro tagliare ad arte alberi e pezzi di marmo. Come far

breccia in guerra per mura e terrapieni, come combattere a cavallo, come assediare ogni sorta di siti, come condurre gli assalti, ed anche come difendersi e ripararsi nel bisogno. Per tutto ciò, dico ancora una volta, sono sorti innumerevoli e copiosissimi metodi utili dalla nobile arte e scienza meccanica, ed hanno con le loro indicazioni e il loro continuo ausilio reso piú facile e svelto il lavoro di carpentieri, scalpellini, marmisti, vignaiuoli, spremitori d'olio, fabbricanti d'unguenti, fabbri, barbieri, medici, fornai, sarti, *summa summarum* di tutti gli utili artigiani, come si vede quotidianamente coi nostri occhi. E però ci sono alcuni nuovi logodedali e accaniti spregiatori di arti meccaniche: che divengano una buona volta rossi di vergogna (se ancora c'è vergogna in essi), e cessino di calunniare malvagiamente (e falsamente) con il pretesto dell'inutilità la lodevole arte dei saggi! Vadano al diavolo, dico loro, e ci pensino meglio: ma se non vogliono smettere o rinsavire, bene, perseverino nella loro grossolana incomprensione, ché noi non ci curiamo di loro e vogliamo invece seguire e imitare il corifeo di tutti i filosofi e precursori di Aristotile, le cui acute *Questiones mecanicae*, tramandate alla posterità, dimostrano abbastanza il suo intimo amore per quell'arte.

...Ci sono fra tutti i matematici alcuni che Archimede vogliono inalzare con maggiori e piú giuste lodi, ché ci appare quasi un dio fra i meccanici, al quale tutti si indirizzano gli amanti di quest'arte. Poiché egli ha magistralmente racchiuso tutto il globo celeste in una piccola e fragile sfera di vetro, in cui le stelle e i loro infallibili eterni moti non altrimenti apparivano che naturali...

Pure questo Archimede ha con il suo Polispasta, e precisamente con la sola mano sinistra, tirato piú di cinquecentomila staia di peso... Infine si è egli talmente fidato in questa nostra arte meccanica, che ha osato proferire contro alla natura le seguenti parole: *Da mihi ubi sistam, terramque movebo* [dammi un punto d'appoggio e muoverò la terra]. [84]

Alle disquisizioni teoriche di Guidobaldo sul principio generale delle velocità virtuali si riallacciò fra gli altri l'empirista Buonaiuto Lorini, tecnico di guerra al servizio di Cosimo dei Medici e della Repubblica di Venezia, che seppe magistralmente connettere le esperienze pratiche con le nozioni teoriche. Alcuni tecnici del tardo Rinascimento, come Agostino Ramelli (1531-1600 circa), profusero nei loro scritti progetti di costruzioni che non tenevano alcun conto dell'attrito, del peso delle varie parti delle macchine, della non perfetta flessibilità delle corde. Ci si divertiva al gioco cinematico dei meccanismi in piccoli modelli, e in ambi-

ziosi progetti si trascuravano le questioni degli effetti pratici, della limitata resistenza dei materiali e delle possibilità di realizzazione, che erano a quel tempo ben modeste. Il Lorini invece fu un vero ingegnere, che non s'accontentava del progetto sulla carta, o di un modello funzionante in scala ridottissima, ma pensava sempre alla realizzazione pratica nelle dimensioni effettive. Riportiamo alcuni passi dalla sua opera *Delle fortificationi*, del 1597, che si eleva di molto al disopra delle altre opere tecniche del suo tempo (fig. 42).

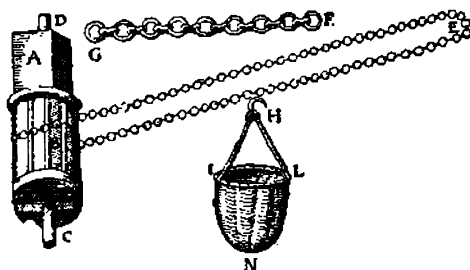



Fig. 42. *Teleferica per la costruzione di fortezze*. Anno 1597.

... e anderò solo mostrando sommariamente, con quella maggior sommarietà e brevità che potrò, quegli effetti della lieva, cioè nelle taglie, nella vite, e nell'asse e nella ruota, che possono servire per l'intelligenza di quanto ne occorre dire in materia dell'investigare e fabbricare le proposte machine, e quelle sapere proportionatamente non solo comporre et ordinare, ma quella chiarezza che ancor oggi si ricerca, saper co 'l compasso ritrovare la forza, cioè la multiplicazione delle sue linee, accioché poi, nell'effettuar l'opera in forma reale, non si venga a restare ingannati di tal sua forma, come spesso accade a quelli che confidano solo nella facilità che mostrano i modelli piccoli, senza sapere i necessari suoi fondamenti. Ma, prima che piú avanti procediamo, sarà necessario avvertire alla differenza che si trova tra il puro matematico speculativo et il mecanico pratico. E perché le dimostrazioni e proportioni che si ritrovano tra le linee superficie e corpi imaginarij e separati dalla materia non rispondono cosí esquisitamente quando alle cose materiali si applicano, cioè che i concetti mentali del matematico non ricevono né sono sottoposti a quegli impedimenti che di sua natura sempre porta seco congiunti la materia con che opera il meccanico; per questo, se bene la dimostrazione matematica ne persuade necessariamente che, per esempio, con una linea

che abbia la distanza, dal sostegno alla forza, quadrupla della distanza tra il peso et il sostegno, con la quarta parte della forza si possa levare il peso; nondimeno venendo poi a farne la esperienza in materia, come saria servendoci d'un trave per lieva, dovemo far consideratione del peso di esso trave ancora, e considerare che sendo la maggior parte di esso trave verso la forza, e la minore verso il peso, verrà con la sua maggior gravità ad accrescer forza alla potenza per alzare o sostentare esso peso. Laonde, per l'opposito, in altri casi l'istessa materia potria apportare impedimento grandissimo, come saria ancora nel dover far muovere ruote materiali intorno ai suoi assi, che dall'inegual suo proprio peso possono essere impedite; e massime ancora sostentandosi sopra tali assi, over poli, non ben giusti né concentrati, che il tutto può apportare difficoltà al moto. Dove che il puro matematico se le imagina di niuna gravità, e girate intorno a linee, e punti indivisibili. E però il giudicio del mecanico che deve ordinare e comandare agli essecutori dell'opera consiste in grandissima parte nel saper prevedere le difficultà che apportano la diversità delle materie con che si conviene operare, e tanto piú deve in ciò essere cauto, quanto che di tali impedimenti accidentali non se ne può dar regola sicura; onde effettualmente si deve credere che se Archimede non fusse, come s'è detto, stato cosí accorto mecanico, come eccellente matematico, non averebbe con le sue maravigliose machine et altre ingegnose inventioni acquistatosi tanto honore. Adunque, per le cose dette ricorderò a quelli che si vorranno porre a cosí fatte imprese nel giudicare overo comandare la esecutione di qualsivoglia machina, esserli necessario non solo havere cognitione delle Matematiche, ma ancora essere avveduto e pratico meccanico nel farle essequire con le di già dette considerazioni. Né sia alcuno, benché signore grande, che si sdegni, se con nome di mecanico venisse nominato, perché come da Plutarco ed altri gravi autori è stato detto, esso nome è onorato appartenendo solo a uomini di grande ingegno e valore, e che sappino co'l senno e con la mano ritrovare e mettere a esecutione opere grandi, e massime alla militia appartenenti. [85]

Quanto poi agli effetti che succedono nel mettere in atto pratico le proposte forze, dico che possano essere in molte parti differenti per causa delle gravezze delle materie con le quali il mecanico viene a operare, come nel principio si disse; la qual differenza particolarmente può dipendere dal peso della taglia da basso, e della corda, e massime quando fosse grossa e nuova, cioè non usata, che venisse a contrastare la taglia, e tanto piú quando che gli assetti, sopra li quali

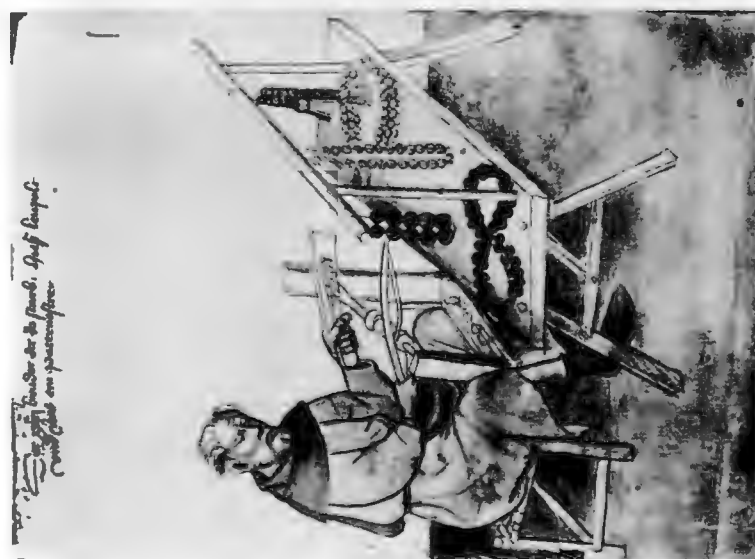
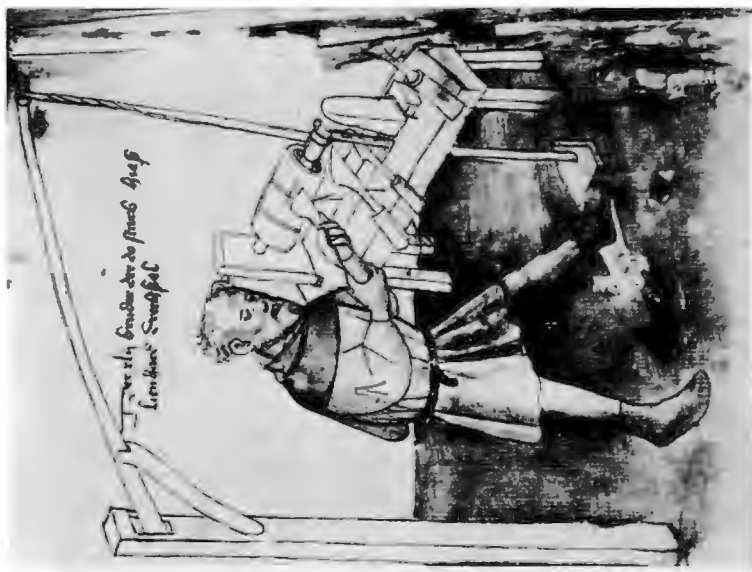
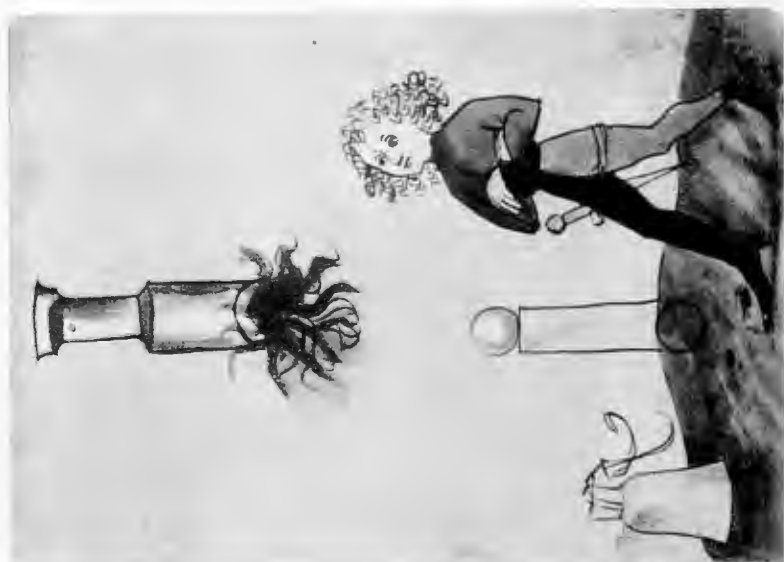
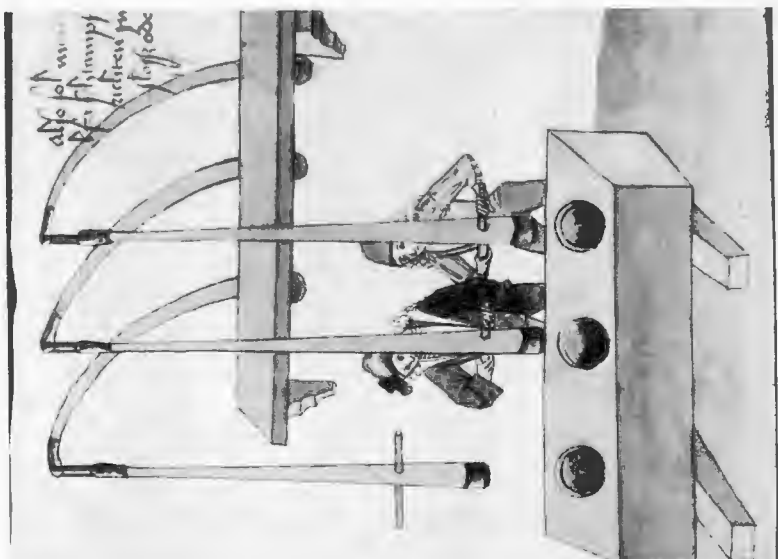
si sostenta et volge la girella non fossero commessi nel suo centro, e fatti tondi con quella diligenza che si ricerca, e specialmente ancora che le corde non si venghino a sfregare l'una con l'altra nel tirare il peso, proportionare con la possanza conforme al peso principale che si averà a alzare, e la corda sempre sarà piú sottile, benché piú debole, sarà maggiore la forza che farà; nondimeno deve essere tanto grossa che sia sicura a sostentare il peso, e conforme ancora al numero delle girelle che saranno da ogni parte nelle due taglie, perché quanto piú saranno, tanto manco sarà il peso che doverà ciascheduna sostentare.

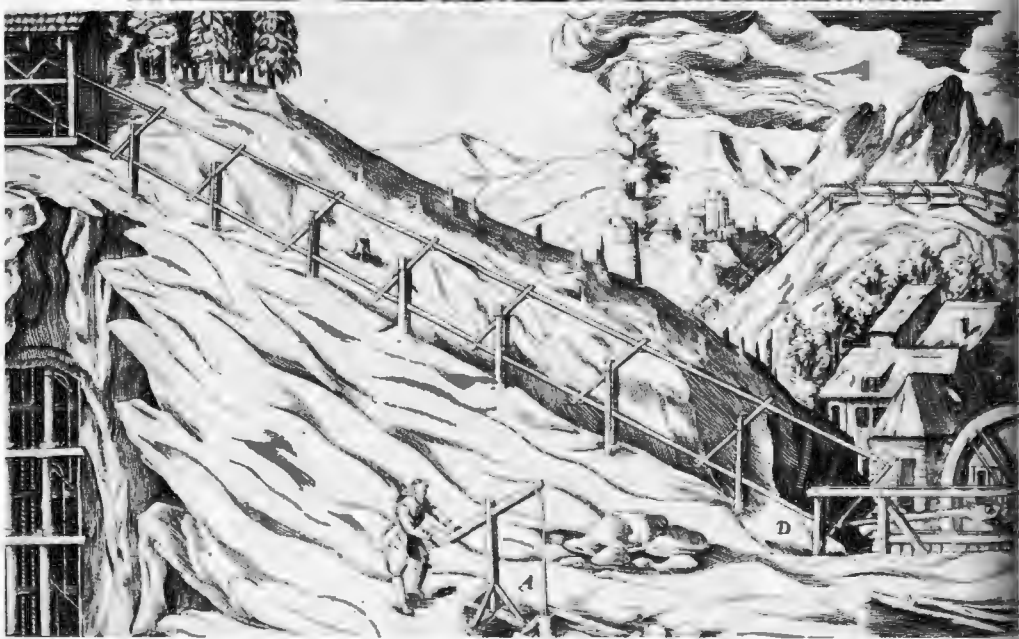
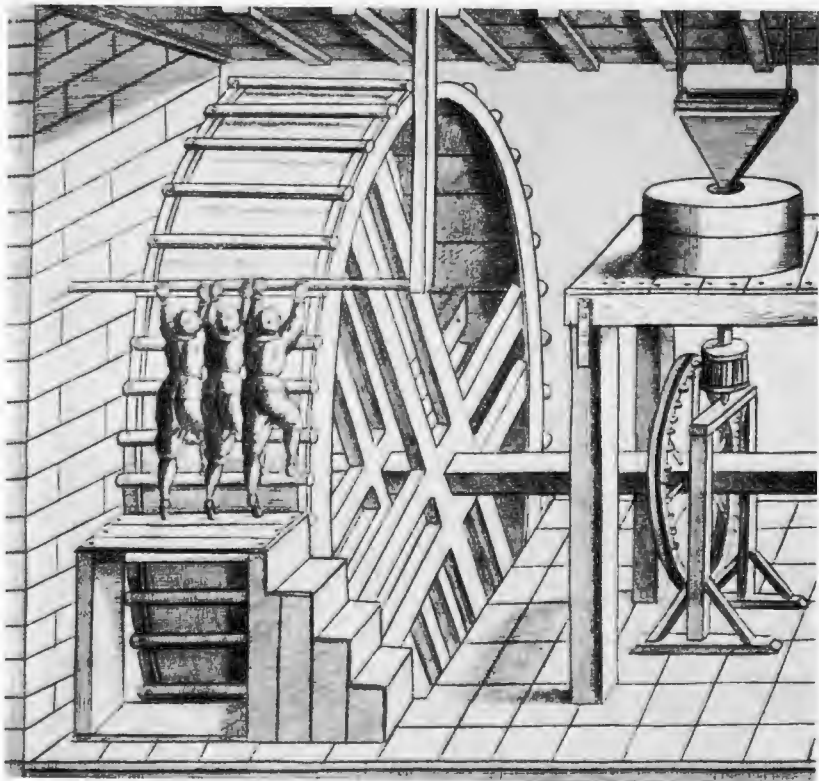
Et faccio che le corde non si possano fregare l'una con l'altra, si doverà a proportione della lor doppia grossezza fabbricare la girella del basso *D* minore della *C* sopra, e similmente la terza *E* della *D*. Et ancora è da avvertire che queste girelle devono esser perfettamente tonde, e co 'l suo dado di bronzo, over bronzino busato e concentrato nel mezzo, per dove deve entrare l'asse con diligenza lavorata, sí che similmente venga di perfetta rotondità, e di non superflua grossezza...

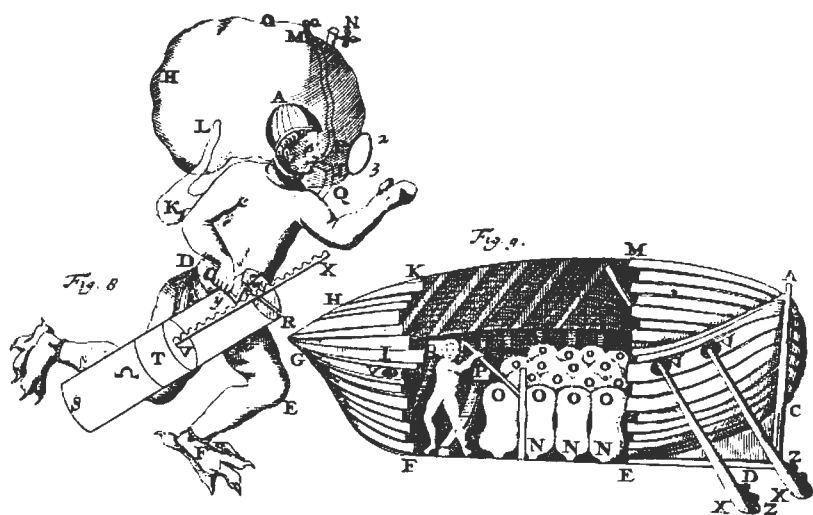
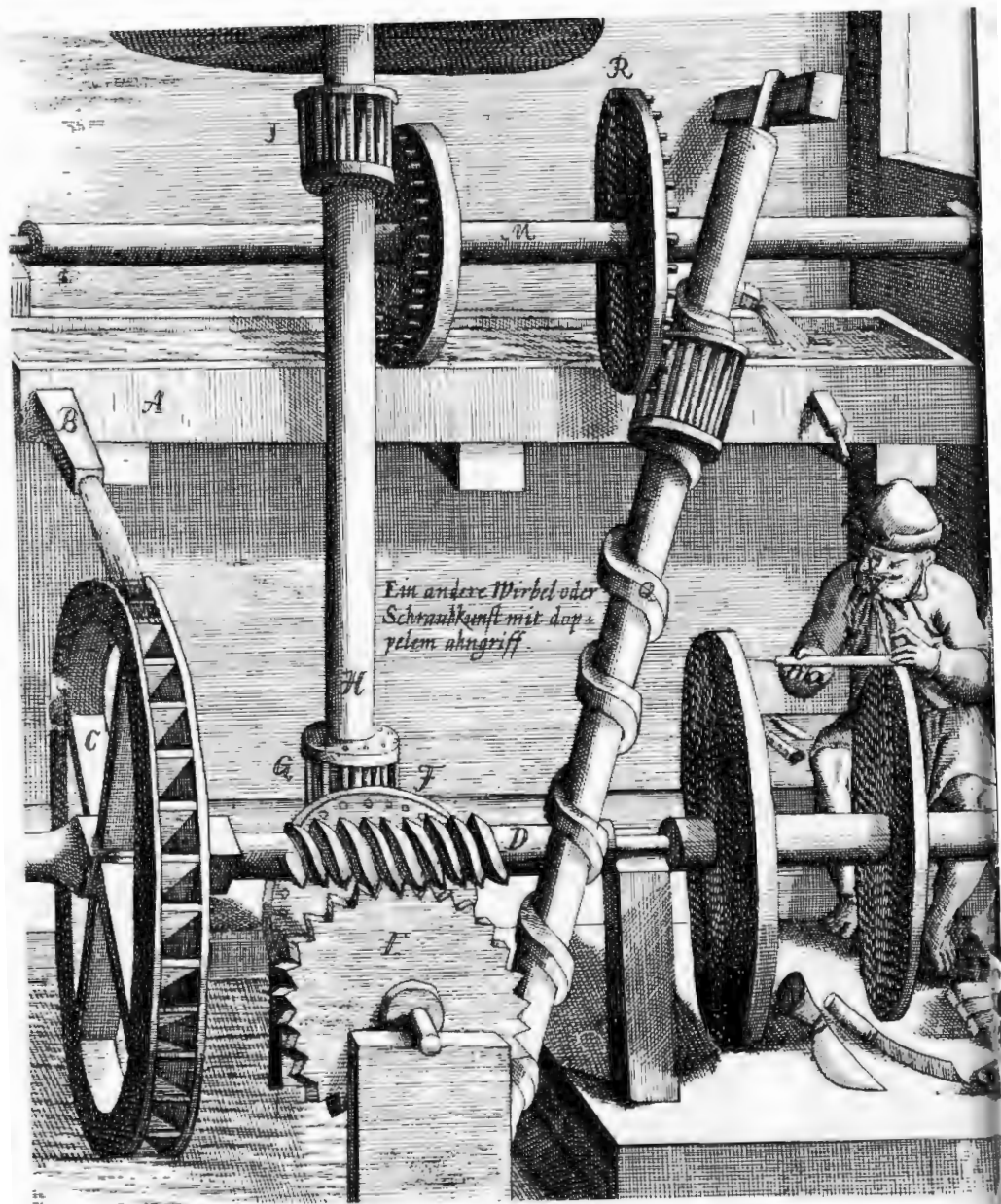
Quanto poi alla velocità dell'operare, si vede manifesto che dove si ritrova la forza ivi è la tardanza, sí come, all'apposito, con la velocità sta la poca forza a proportione della multiplicatione delle leve, over corde, pigliando ciascuna la sua parte del peso per le ragioni dette; e per questo s'intenda per tutte le sorti di strumenti, e machine da potersi fare, come diffusamente in altro luogo diria. [86]

La visione piú realistica della tecnica, che fu propria del Rinascimento (del Biringuccio, dell'Agricola, del Lorini), andò dissolvendosi negli anni seguenti. Già nel tardo Rinascimento si fece sentire qua e là una forte tendenza a mettere sulla carta progetti fantasiosi, che talora non poggiavano piú affatto sulla realtà, anche se non si possono ad essi negare alcuni risultati pratici positivi. Sotto questo segno s'apre l'età barocca.

Parte quarta

L'età barocca

Tav. IX a. *Trapano ad archetto per fabbricare rosari*, 1390 circa.
b. *Tornio a pedale*, 1395 circa.

Tav. X a. *Sparo di un archibugio a pietra; prova di resistenza della canna.* Anno 1443.
b. *Preparazione della polvere da sparo.* 1470 circa.

Tav. XI. *Fonderia*. Particolare di un quadro di Lucas van Vanckenborgh. 1575 circa.

Tav. XII a. *Scene della vita di miniera.* Anno 1556.
b. *Ruota idraulica con aste di trasmissione dell'energia a due pompe di miniera.* XVII secolo.

Tav. XIII. *Ruota di Veranzio azionata a piedi per un mulino*: " Noi si compiacemo, d'essere inventori del novo modo di questa Rota... Nelle altre Rote li homini caminano ne la parte inferiore ed interiore... ma ne la nostra stanno de la Rota, ne la parte esteriore." Anno 1616.

Tav. XIV. *Macchina calcolatrice di Pascal.* Anno 1645.

Tav. XV. *Palombaro e sottomarino.* Progetto di G. A. Borelli. Anno 1680.

Tav. XVI. *Progetto di un moto perpetuo: meccanismo con coclea e mole per affilare*. Anno 1629.

Introduzione

L'età del barocco rappresentò per la storia della tecnica un periodo di preparazione a sviluppi essenzialmente nuovi che dovevano manifestarsi in seguito, soprattutto nella seconda metà del XVIII secolo e principalmente nel campo delle scienze fisiche. I grandi successi della fisica di Galileo, basata esclusivamente sulla misura e sulla comprensione del fenomeno, le profonde conoscenze fisiche ed astronomiche di Keplero, gli eccellenti risultati teorici e sperimentali ottenuti in matematica e in fisica da Leibniz, Huygens, Newton, valsero a porre in primo piano il metodo matematico come strumento principale per la conoscenza del mondo. I grandi filosofi di quel tempo, come Cartesio, Spinoza, Leibniz, si servirono del metodo matematico per ottenere un quadro d'assieme "chiaro e distinto" della realtà.

L'irrompere della dinamica nel mondo rinascimentale (definito per lo piú attraverso forme statiche) fu il fenomeno proprio dell'età barocca, e si concretò da un lato in creazioni artistiche tutte permeate di forze e tensioni interne, d'altro lato nella nuova dinamica di Galileo Galilei, nella teoria della circolazione del sangue di Harvey, nella geometria analitica di Fermat e di Cartesio, nella rappresentazione dinamica dei corpi, di Leibniz, e nel calcolo infinitesimale scoperto da Newton e da Leibniz. Il XVII secolo sostituí in misura sempre maggiore alla spontaneità della natura le regole del meccanismo, e pervenne cosí per la prima volta alla vera e propria concezione di una natura retta da leggi, con le quali anche la creazione tecnica deve accordarsi. Del resto le leggi naturali venivano considerate ancora nel XVII secolo alla stregua di *leges divinae*: soltanto nel XVIII secolo il concetto di "legge naturale" perse il carattere "soprannaturale," di norma celeste, avuto sin allora. A questa concezione, dell'esistenza di leggi naturali, corrispose nel campo politico la ricerca di norme giuridiche di validità universale, che non ammettessero alcuna eccezione individuale: fatto di estrema importanza ai fini della formazione di privilegi pratici nel campo dell'attività inventiva, ossia ai fini stessi dello svi-

luppo della tecnica.

La fiorente attività di ricerca sperimentale dell'età barocca portò alla scoperta di molti strumenti ed apparecchi scientifici, fra i quali basterà ricordare il microscopio, il cannocchiale, il barometro, la macchina calcolatrice, la pompa ad aria, l'orologio a pendolo ed il termometro. L'introduzione di una simile attrezzatura che in quei tempi veniva costruita dal ricercatore stesso o quanto meno sotto la sua direzione, portò ad una radicale tecnicizzazione delle ricerche. Il calcolo infinitesimale (che nelle sue applicazioni ai problemi della fisica e, piú tardi, della tecnica si dimostrò strumento d'eccezionale portata concettuale) fu un ulteriore contributo portato alla ricerca pura e applicata da quel senso della dinamica e della continuità che fu proprio dell'età barocca.

Sempre nel campo della ricerca scientifica comparvero nella seconda metà del XVII secolo le prime accademie scientifiche veramente significative (quali la Royal Society di Londra e l'Académie des Sciences di Parigi) e le prime riviste scientifiche. Dovunque si rivelava una generale tendenza all'unione, alla cooperazione, come è dimostrato anche dalle società commerciali dell'epoca, dovute per lo piú all'iniziativa privata. L'indagine sperimentale dei fenomeni della natura e la creazione tecnica erano tenute in gran conto nelle società scientifiche e nei giornali culturali, almeno per quanto riguardava le novità piú importanti che venivano a coronare gli sforzi diretti a fini utilitari.

Contrariamente a quanto accadde nel Rinascimento, l'età barocca vide fiorire, particolarmente in Germania, un senso spiccatissimo per le cose strane e misteriose. La fertile fantasia dell'epoca ebbe a manifestarsi anche nella tecnica, specie nella tendenza a creare progetti complicati e contorti e una gran varietà di giochi tecnici, prediletti nelle corti dei potenti. Ma accanto alla ricchezza di idee, alla fantasia ed a questa tendenza all'extrasensoriale, l'uomo dell'età barocca possedeva in pari misura anche il senso del razionale, non privo di una certa apertura per le questioni pratiche ed economiche.

Per quanto riguarda le attrezzature ed i materiali impiegati, la tecnica del XVII secolo batteva ancora la strada dell'epoca precedente. Per le macchine motrici (ruote idrauliche, mulini a vento, ruote a gravità [tav. XIII], mulinelli) veniva sempre impiegata l'energia dell'acqua, del vento o quella muscolare dell'uomo e degli animali. La materia prima con la quale erano in massima parte costruite queste macchine elementari era il legno. Nei casi in cui le esigenze dei grandi signori assoluti dell'epoca richiedevano la soluzione di gravi problemi tecnici, in guerra, alla corte, nel commercio, si cercava di giungere allo scopo mediante la semplice moltiplicazione dei mezzi tecnici comuni, e relativa organizzazione, anche se già nella seconda metà del XVII secolo cominciavano a vedersi i primi tentativi di sviluppare un'attrezzatura tecnica completamente nuova, sistemi motori

fondati su principî assolutamente nuovi.

Lo sviluppo della meccanica teorica e le tendenze mercantilistiche del XVII secolo portarono anche alla meccanicizzazione del lavoro umano. Nelle manifatture, che si andavano rapidamente sviluppando, e nelle quali il lavoro veniva svolto con i semplici mezzi tecnici tradizionali, si cercò di ottenere un aumento della produzione ricorrendo alla suddivisione del lavoro e ad una maggiore organizzazione. Nelle manifatture, eccezion fatta per le imprese artigiane vere e proprie, si dava sempre piú importanza alla quantità della produzione, e sempre meno al lavoro dei singoli individui. La manifattura, specie quella che aveva per imprenditore non lo stato ma un individuo, veniva a rappresentare un punto di incrocio fra l'antico ordinamento economico statale, con i suoi limiti ben definiti per le possibilità di produzione, e la dinamica di una illimitata tendenza ad un continuo progresso.

Un fattore essenziale agli effetti dello studio della natura, della tendenza a padroneggiare la natura attraverso lo strumento tecnico, e del forte impulso economico determinatosi a partire dalla seconda metà del XVII secolo, va ricercato anche nell'etica essenzialmente pratica del calvinismo, nella sua esplicita applicazione alle cose del mondo. Nei paesi con popolazione totalmente o parzialmente calvinista (come i Paesi Bassi, l'Inghilterra, dove le chiese libere puritane attiravano particolarmente i ceti medi, e la Francia sino al 1685, dove gli Ugonotti erano molto attivi nel campo dell'economia), risultava particolarmente significativo. L'elemento calvinistico ha grande importanza anche nelle società scientifiche e nei giornali culturali dell'ultimo periodo del XVII secolo a cui abbiamo già accennato: si trattava insomma di forze religiose che svolgevano una forte azione nel campo della *vita activa*. Ritorneremo ancora su questo punto (vedi p. 203). Nel XVIII secolo, in un periodo di piena laicizzazione, il momento religioso passò in secondo piano, e anche l'inclinazione metafisica propria dell'età barocca (che però si sposava sempre a un forte senso della realtà, dell'economia, della razionalità) lasciò il campo all'utilitarismo ed al razionalismo empiristico.

La tecnica e i brevetti industriali

Per lo sviluppo della tecnica fu di grande importanza la regolazione dei brevetti industriali. Già nel Medioevo incontriamo casi isolati di concessione di previlegi per alcune invenzioni, che assicurano all'inventore una protezione contro le imitazioni, ma soltanto all'inizio dell'epoca moderna si sviluppò un vero e proprio sistema di brevetti: precisamente a Venezia, alla fine del XV secolo. Nel XVI secolo, particolarmente nei Paesi Bassi e nell'Elettorato di Sassonia, si fissarono forme ben determinate per garantire la libertà d'invenzione, e soprattutto veniva prescritta la novità e l'utilità dell'invenzione da proteggere. Già nel XVI secolo vennero rilasciati anche dei brevetti imperiali, validi per l'intero territorio dell'Impero. In Inghilterra la Camera dei Comuni, a partire dalla metà del XVI secolo, lottò contro gli abusi della Corona nel conferire a sua discrezione previlegi per il commercio di generi di qualsiasi specie, anche di prima necessità. Nel corso di una causa penale intentata da E. Darcy, che possedeva un previlegio reale per l'importazione, la produzione e la vendita di carte da gioco, contro Th. Allen, che aveva violato questo previlegio, l'avvocato Fuller, patrono di Allen, tenne in tribunale un significativo discorso nel quale si insisteva sul concetto che il previlegio fosse da considerare legale soltanto e unicamente quando proteggesse il vero inventore di un dispositivo che risultasse di utilità allo Stato. La contesa con la Corona per la questione degli abusi nel conferimento dei previlegi dimostra come già in epoche remote la borghesia inglese lottasse per i suoi diritti. Riportiamo l'orazione tenuta nel 1602 dal Fuller davanti al Tribunale del Re a Londra, che è di notevole interesse storico.

Non furono gli stati creati per i re, ma i re per gli stati. E la legge, questa eredità comune, lega entrambi, la regina come i sudditi. Se non ci fosse la legge, non ci sarebbe regina, né eredità. Violare la legge significa gettare le basi per il disordine. La regina non può agire contro il diritto con un privilegio da lei accordato, e la sua pre-

rogativa non le conferisce alcuna autorizzazione a far torto ai suoi sudditi. Nulla varrebbero i brevetti, se il loro scopo fosse quello di alterare la legge e di violare il diritto ereditario di chicchessia, o di consentire alcunché che vada contro al diritto comune o che comporti un comune gravame per i sudditi.

Secondo la legge divina, ciascuno deve vivere con il proprio lavoro. Pertanto un atto del Parlamento che impedisse ad un uomo di vivere con il lavoro al quale è stato educato sarebbe nullo per legge divina. Ed a maggior ragione dovrebbero essere nulle le lettere di previlegio.

L'arte e la perizia dell'attività artigianale non derivano dalla regina, ma dal lavoro e dalla diligente applicazione dell'uomo. Per dono di Dio l'arte e la perizia portano al bene dello stato e della corona; ed il giusto dovere di un re, dice Bracton, non sta nel diminuire un uomo, ma nel rendere ogni uomo utile alla comunità...

Tutti i brevetti, che riguardano il re ed i suoi sudditi, devono essere esaminati e approvati dal tribunale, che stabilisce se ed in qual misura essi siano equi. E nell'emettere la lettera di previlegio i giudici non si devono lasciar guidare dalle parole di chi vuole ottenere la loro approvazione, ma dalle leggi del regno e da quelle di Dio, tenendo inoltre conto dell'antica libertà...

Vi mostrerò come un tempo i giudici approvassero i diritti di monopolio. Essi li approvavano quando qualcuno, con la propria fatica ed attività, a sue spese e grazie al suo spirito di inventiva aveva introdotto nel regno un nuovo mestiere o una nuova macchina che servisse alle esigenze di una professione e che non fosse già stata utilizzata in precedenza. E quando ciò fosse avvenuto a beneficio dello stato, in tale caso poteva il re conferire all'inventore un diritto di privativa di opportuna durata, in considerazione dell'utile che la sua invenzione apportava alla comunità, fino a quando i sudditi non avessero completamente appreso questa invenzione. Ma non in casi diversi. [87]

Nel 1624, sotto il regno di Giacomo I, la questione dei previlegi trovò la sua regolamentazione legale nello *Statuto sui Monopoli*, nel quale veniva stabilito che la Corona poteva conferire il brevetto soltanto al primo inventore di un prodotto o di un procedimento che risultasse utile allo stato:

... Brevetti e previlegi dovranno in futuro essere concessi entro i confini di questo regno per la durata di quattordici anni, o meno,

soltanto per la realizzazione di un qualsiasi tipo di nuovo prodotto industriale o per l'applicazione di un nuovo procedimento e soltanto all'effettivo e primo scopritore di questo prodotto o di questo processo, che non venga già utilizzato da altri al momento del conferimento del diritto. Ciò vale sempreché il brevetto non sia contrario alla legge o non danneggi lo stato in quanto contribuisca a far aumentare i prezzi dei beni di consumo indigeni o sia di nocumento al commercio o risulti inaccettabile. I suddetti quattordici anni vanno contati dall'istante del primo conferimento di brevetto o concessione di previlegio... [88]

Per il resto la concessione di un diritto di privativa restava sempre un atto di grazia della corona; solo alla fine del XVIII secolo fu ammesso il diritto dell'inventore ad ottenere un brevetto per la sua invenzione. Tuttavia la rapida costituzione di una regolamentazione dei previlegi ebbe grande influenza sullo sviluppo tecnico dell'Inghilterra. Goethe poteva dire a ragione degli inglesi: "Noi riteniamo il riconoscere e lo scoprire la forma piú eccellente di proprietà che si possa acquistare, e ne meniamo vanto. Il furbo inglese invece con un brevetto la trasforma immediatamente in utili, e si libera cosí da ogni spiacevole questione d'onore."[1] Ed in un altro passo rileva: "L'inglese è maestro nell'utilizzare subito la cosa scoperta, e perviene cosí a nuove scoperte ed a nuovi progressi. Ci si chieda soltanto perché ci precedono in tutti i campi."[2]

Scienza e tecnica

Il regno della natura, mentre nel Medioevo era stato relegato al livello piú basso, giunse nel secolo XVII a godere di una valutazione pari a quella del mondo dell'uomo. La scienza della natura si andò sempre piú emancipando dalla teologia; la natura divenne decisamente il campo d'azione dell'uomo. Rimaneva ancora tuttavia qualche impaccio d'ordine religioso. Già all'inizio del secolo Francesco Bacone tentò di indicare la via teorica per giungere ad una scienza della natura il cui scopo precipuo fosse il dominio della natura attraverso gli strumenti tecnici.

Non si tratta soltanto della fortuna delle scienze, ma in verità della posizione e della fortuna dell'uomo e del dominio di tutte le arti. Poiché l'uomo, nella sua qualità di servitore e di interprete della natura, può operare e conoscere soltanto ciò che dell'ordinamento della natura ha potuto indagare con le sue opere e con il suo spirito; al di là di ciò, egli non sa e non può nulla. Poiché nessuna forza ha il potere di sciogliere o di interrompere la catena della causalità, che si può vincere solo con l'obbedirvi. Pertanto i due obiettivi, la scienza e la potenza dell'uomo, vengono a coincidere, e la maggior parte delle opere fallisce per ignoranza delle cause.

Potere e sapere coincidono nell'uomo, mentre l'ignoranza delle cause fallisce l'effetto. La natura si può vincere soltanto con l'obbedienza.

Il vero e giusto scopo delle scienze consiste quindi nell'arricchire con nuovi mezzi e con nuovi ritrovati la vita dell'uomo.

Ora il dominio dell'uomo sulle cose riposa soltanto sulle arti e sulle scienze. Ché alla natura si può comandare solo obbedendole. Già l'utilità di una sola invenzione commosse spesso gli uomini a tal punto da indurli a ritenere un essere superiore l'inventore, perché con un solo beneficio si era guadagnato la riconoscenza di tutta la

umanità; quanto piú egregio apparirà dunque lo scoprire ciò che agevola ogni altra scoperta? [89]

Nella sua utopistica *Nuova Atlantide* (*New Atlantis*), Bacone gettava lo sguardo in un futuro caratterizzato da un piú vasto dominio dell'uomo sulla natura, frutto di una assidua ricerca empirica.

Descrizione della casa di Salomone. Scopo della nostra fondazione è la conoscenza delle cause finali e dei movimenti reconditi delle cose e l'ampliamento dei limiti di dominio dell'umanità...

Possediamo anche case per macchine dove sono disposti macchine e apparecchi per ogni sorta di movimento. Colà cerchiamo di realizzare i moti piú veloci, come voi producete nei vostri schioppi o in altre macchine. Ci sforziamo di mantenere i moti, con minor attrito e maggior efficienza, mediante ruote e altri mezzi; e ci sforziamo di farli piú forti e potenti, come fate con i vostri maggiori cannoni e colubrine. Produciamo pure grossi cannoni, macchine da guerra e apparecchi di tutti i generi, nonché nuove miscele di polvere, fuochi greci che bruciano sull'acqua senza spegnersi, e i piú vari tipi di fuochi d'artificio, che servono sia a scopo di divertimento sia a fini utili. Imitiamo anche il volo degli uccelli; abbiamo diverse apparecchiature per il volo attraverso l'aria. Abbiamo navi e barche che possono correre al di sotto della superficie dell'acqua, e tenere il mare particolarmente bene. Possediamo pure cinture per il nuoto e altri mezzi per sostenersi nell'acqua. Abbiamo parecchi preziosi orologi e apparecchi con movimenti alternati e anche continui. Imitiamo pure il moto di esseri viventi, con immagini d'uomini, di quadrupedi, di uccelli, di pesci e di serpenti. Abbiamo anche molti altri dispositivi eccellenti per equilibrio, eleganza e finezza. [90]

Come in Bacone, cosí pure nel pensiero di molti altri importanti filosofi e studiosi della natura del XVII secolo la tecnica godeva di una posizione eminente. Galileo, il fondatore della nuova dinamica, ebbe per punto di partenza di molti suoi lavori questioni essenzialmente tecniche: la sua opera era ancora ispirata dalla tradizione rinascimentale delle officine fiorentine dei mastri sperimentatori, ed egli compí a Pisa e a Firenze vari studi di fisica in cui è evidente l'unione della ricerca sperimentale e dell'applicazione tecnica. Piú tardi, a Padova, dove insegnò all'Università dal 1592, s'impegnò nella soluzione di problemi tecnici, come la costruzione di fortificazioni, la tecnica dell'irrigazione, la meccanica delle macchine semplici, la realizzazione di un compasso proporzionale a mol-

teplici usi, il collaudo dei materiali. I famosi *Discorsi*, del 1638, in cui egli espose la sua meccanica, si aprono in mezzo all'attività dell'arsenale di Venezia e iniziano con l'affermazione dell'impossibilità di costruire, in base a una macchina piccola un'altra piú grande, in cui le dimensioni di tutte le parti siano multiple delle dimensioni delle corrispondenti parti della piú piccola.

Salviati: Largo campo di filosofare agl'intelletti speculativi parmi che porga la frequente pratica del famoso arsenale di voi signori Veneziani, ed in particolare in quella parte che Meccanica si domanda; attesoché quivi ogni sorta di strumento e di macchina vien continuamente posta in opera da numero grande di artefici, tra i quali, e per le osservazioni fatte dai loro antecessori, e per quelle che di propria avvertenza vanno continuamente per sé stessi facendo, è forza che ve ne siano di peritissimi e di finissimo discorso.

Sagredo: V. S. non s'inganna punto; ed io, come per natura curioso, frequento per mio diporto la visita di questo luogo e la pratica di questi che noi, per certa preminenza che tengono sopra il resto della maestranza, domandiamo proti; la conferenza dei quali mi ha piú volte aiutato nell'investigazione della ragione di effetti non solo maravigliosi, ma reconditi ancora e quasi inopinabili. È vero che talvolta anco mi ha messo in confusione e in disperazione di poter penetrare come possa seguire quello che, lontano da ogni mio concetto, mi dimostra il senso esser vero; e pur quello che poco fa ci diceva quel buon vecchio è un dettato e una proposizione bene assai vulgata; ma però io la reputava in tutto vana, come molte altre che sono in bocca dei poco intelligenti, da lor, credo, introdotte per mostrar di saper dir qualche cosa intorno a quello di che non son capaci.

Salviati: V. S. vuol forse dire di quell'ultimo pronunziato ch'ei proferí mentre ricercavamo d'intendere per qual ragione facevano tanto maggior apparecchio di sostegni, armamenti ed altri ripari e fortificazioni intorno a quella gran galeazza che si doveva varare, che non si fa intorno a vascelli minori; dove egli rispose ciò farsi per evitare il pericolo di direnarsi, oppressa dal gravissimo peso della sua vasta mole; inconveniente al quale non sono soggetti i legni minori.

Sagredo: Di cotesto intendo, e soprattutto dell'ultima conclusione ch'ei soggiunse, la quale io ho sempre stimato concetto vano del vulgo; cioè che in queste ed altre simili macchine non bisogna argomentare dalle piccole alle grandi; perché molte invenzioni di macchine riescono in piccolo, che in grande poi non sussistono. Ma essen-

do che tutte le ragioni della Meccanica hanno i fondamenti loro nella Geometria (nella quale non vedo che la grandezza e la piccolezza faccia i cerchi, i triangoli, i cilindri, i coni e qualunque altre figure solide soggette ad altre passioni queste, ad altre quelle) quando la macchina grande sia fabbricata in tutti i suoi membri conforme alle proporzioni della minore, che sia valida e resistente all'esercizio al quale essa è destinata, non so vedere perché essa ancora non sia esente dagl'incontri, che sopraggiunger gli possono sinistri e distruttivi.

Salviati: ... tuttavia io pure il dirò, affermando che, astraendo tutte le imperfezioni della materia, e supponendola perfettissima e inalterabile, e da ogni accidental mutazione esente, con tutto ciò il solo essere materiale fa che la macchina maggiore, fabbricata dell'istessa materia e con l'istesse proporzioni che la minore, in tutte l'altre condizioni risponderà con giusta simmetria alla minore, fuor che nella robustezza e resistenza contro alle violente invasioni; e quanto piú sarà grande, tanto a proporzione sarà piú debole. E perché io suppongo la materia essere inalterabile, cioè sempre l'istessa, è manifesto che di lei, come di affezione esterna e necessaria, si possono produrre dimostrazioni non meno dell'altre schiette e pure matematiche. Però, Signor Sagredo, revochi pur l'opinione che teneva, e forse insieme con molti altri che nella Meccanica han fatto studio, che le macchine e le fabbriche composte delle medesime materie, con puntuale osservanza delle medesime proporzioni fra le loro parti, debbon essere ugualmente, o per dir meglio, proporzionalmente disposte al resistere e al cedere delle invasioni ed impeti esterni, perché si può geometricamente dimostrare sempre le maggiori esser a proporzione men resistenti che le minori; sí che ultimamente non solo di tutte le macchine e fabbriche artifiziali, ma delle naturali ancora, sia un termine necessariamente ascritto, oltre al quale né l'arte né la natura possa trapassare; trapassar, dico, con osservar sempre l'istesse proporzioni coll'identità della materia. [91]

Nella giornata seconda dei *Discorsi* Galileo discute fra l'altro il problema della resistenza di una trave rigida caricata ad una estremità; questa trattazione fu fondamentale per il successivo sviluppo delle teorie sulla resistenza dei materiali. Appare qui il tentativo di definire quantitativamente i problemi tecnici seguendo un procedimento scientifico.

Salviati: Imperocché figuriamoci il prisma solido ABCD, fitto in un muro dalla parte AB, e nell'altra estremità s'intenda la forza del

peso E (fig. 43) (intendendo sempre il muro esser eretto all'orizzonte, ed il prisma o cilindro fitto nel muro ad angoli retti): è manifesto che dovendosi spezzare, si romperà nel luogo B, dove il taglio del muro serve per sostegno, e la BC per la parte della leva, dove si pone la forza; e la grossezza del solido BA è l'altra parte della leva, nella quale è posta la resistenza... e per le cose dichiarate, il momento della forza E posta in C al momento della resistenza, che sta nella grossezza del prisma, cioè nell'attaccamento della base BA con la sua contigua, ha la medesima proporzione che la lunghezza CB alla metà della BA; e però l'assoluta resistenza all'esser rotto, che è nel prisma BD (la quale assoluta resistenza è quella che si fa col tirarlo per diritto, perché allora tanto è il moto del movente quanto quello del mosso) all'esser rotto con l'aiuto della leva BC, ha la medesima proporzione che la lunghezza BC alla metà di AB... E questa sia la nostra prima proposizione. E notate che questo che dico si debba intendere rimossa la considerazione del peso proprio del solido BD, il qual solido ho preso come nulla pesante. Ma quando vorremo mettere in conto la sua gravità congiungendola col peso E, dobbiamo al peso E aggiungere la metà del peso del solido BC, sí che essendo v. g., il peso di BD due libbre, e il peso di E libbre dieci, si deve pigliare il peso E come se fosse undici.

Simplicio: E perché non come se fusse dodici?

Salviati: Il peso E, sig. Simplicio mio, pendente dal termine C, preme in rispetto alla leva BC con tutto il suo momento di libbre dieci, dove se fusse appeso il solo BD, graverebbe con tutto il momento di due libbre; ma, come vedete, tal solido è distribuito per tutta la lunghezza BC uniformemente, onde le parti sue vicine alla estremità B gravano manco delle piú remote; sí che insomma ristorando quelle con queste, il peso di tutto il prisma si riduce a lavorare sotto il centro della sua gravità, che risponde al mezzo della leva BC; ma un peso pendente dalla estremità C ha momento doppio di quello che avrebbe pendendo dal mezzo; e però la metà del peso del prisma si deve aggiugnere al peso E, mentre ci serviamo del momento d'ambedue, come locati nel termine C. [92]

Alla nuova scienza della resistenza dei materiali, di cui Galileo fu l'iniziatore, e che ebbe grande importanza per l'applicazione di metodi razionali nella ricerca tecnica, si ricollegarono con ricerche di notevole portata Coulomb nel 1773 e Navier nel 1826.

Cartesio nel 1638, in una lettera a Mersenne, svolse una discussione cri-

tica sul citato passo di Galileo, che sta a dimostrare l'interesse del grande filosofo per le questioni tecniche.

11 ottobre 1638

Padre mio onoratissimo,
comincerò questa lettera con le mie osservazioni sopra il libro di Galileo. Trovo in generale ch'egli sa speculare assai meglio che gli altri in media non facciano, in quanto egli rifiuta per quanto può gli errori scolastici e cerca di esaminare gli oggetti fisici con riflessioni ma-

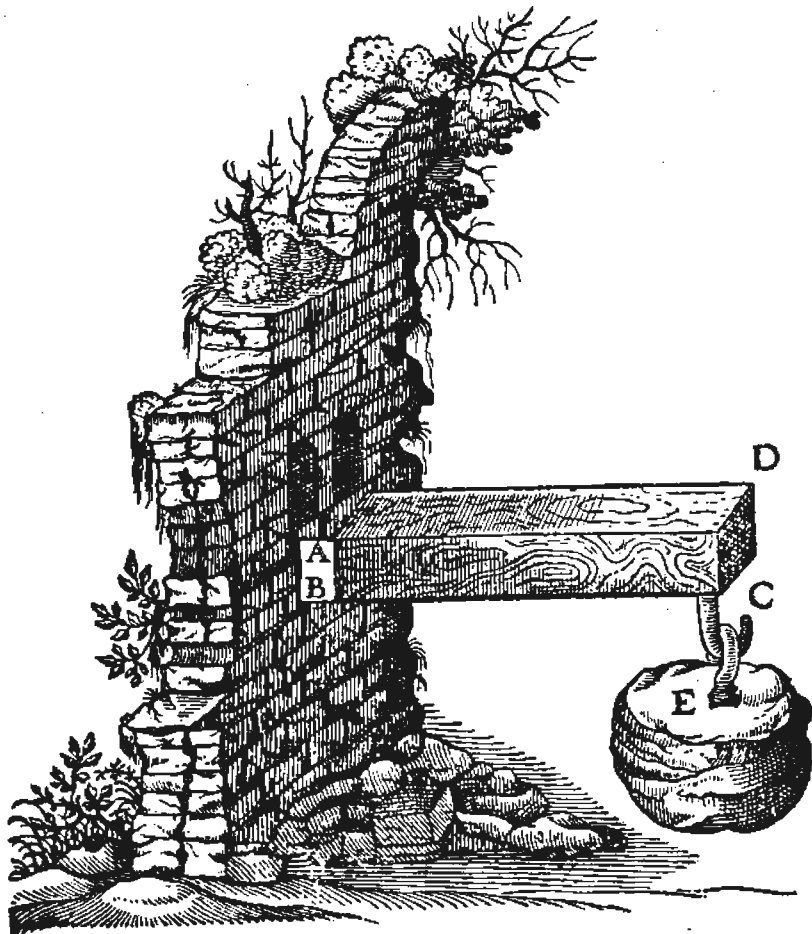



Fig. 43. *Misura della resistenza di una trave.* Anno 1638.

tematiche. Su tal punto le mie vedute coincidono perfettamente con le sue, poiché ritengo non esista alcun altro modo per trovare la verità...

Egli prende in considerazione il perché grandi macchine, di forma e di sostanza uguale ad altre piú piccole, risultino piú deboli di queste; e il perché un fanciullo cadendo si faccia meno male che un uomo adulto, o un gatto meno male che un cavallo, ecc. In ciò mi sembra non sussistere difficoltà né motivo, per ricavarne una nuova disciplina; poiché è evidente che, affinché la forza o la resistenza di una macchina grossa sia del tutto nel giusto rapporto con quella di una piú piccola di ugual conformazione, essa deve esser fatta di una materia tanto piú dura e difficile da rompere, quanto la sua forma e il suo peso sono piú grandi; e fra una macchina grande ed una piccola fatte della stessa materia sussiste la stessa differenza che fra due macchine di ugual dimensione, delle quali una sia di materiale assai piú pesante e quindi maggiormente resistente dell'altra...

Egli confronta la forza che è necessaria per spaccare un bastone trasversalmente, con quella che si deve esercitare per romperlo tirandolo dall'alto verso il basso, ed afferma che in senso trasversale si viene ad avere una leva con il fulcro nel mezzo dello spessore; ciò che in nessun modo risulta giusto, e di ciò non dà nessuna dimostrazione...

Sono, padre mio onoratissimo, il vostro devoto ed ubbidiente servitore.

Cartesio. [93]

Nel suo *Discorso sul metodo,* del 1637, Cartesio svolse i fondamenti di una scienza della natura razionalistica e meccanico-matematica. Le conoscenze scientifiche ottenute con questo metodo dovranno essere usate per dominare la natura:

... Quantunque queste mie speculazioni a me assai piacessero, pensai tuttavia che forse altri ne avessero di quelle che loro ancor piú piacessero. Non appena però giunsi ad alcuni concetti generali della fisica, ed attraverso le loro prime applicazioni a diversi problemi particolari ebbi modo di osservare quanto ampia fosse la loro portata e quanto essi si scostassero dai concetti finora usuali, ritenni allora di non poter piú rimanere nel buio, senza peccare contro quella norma che ci obbliga a provvedere, per quanto sta a noi, al bene generale di tutti gli uomini. Questi concetti mi hanno infatti mostrato come si possa giungere a concezioni assai fruttifere per la vita pratica, e pervenire ad una filosofia pratica che, a differenza di quella teorica scola-

stica, ci insegni a conoscere le forze e l'efficacia del fuoco, dell'acqua, dell'aria, delle stelle, del cielo e di tutti gli altri corpi che ci circondano, con la stessa chiarezza con la quale conosciamo l'opra dei nostri artigiani, e ci renda in grado di trarne vantaggio praticamente per tutti gli usi possibili, facendoci cosí padroni e signori della natura. E ciò non è solo desiderabile per scoprire tutte le infinite arti meccaniche con le quali si possa senza fatica godere di tutti i frutti della terra e di tutti i suoi diletti, ma soprattutto per mantenere la salute del corpo, che è il primo bene ed il fondamento di tutti gli altri beni di questa vita. [94]

Il rigoroso metodo di Cartesio per una conoscenza razionalistica, come del resto tutta la filosofia naturalistica del XVII secolo, era in parte influenzato dal calvinismo, dalla sua etica rigorosa e conseguente, dalla sua tendenza ad una attività utile; di fatto il cartesianesimo prese terreno soprattutto nell'Olanda, terra nettamente calvinistica. Questo carattere comune del calvinismo e del cartesianesimo (la tendenza all'utilità, all'attività tecnica che rendesse gli uomini "padroni e signori della natura"), ebbe un'importanza essenziale.

Nella costruzione di macchine utili per il lavoro tecnico, e di strumenti e apparecchi da impiegare nella ricerca scientifica, sorgevano spesso grosse difficoltà. La realizzazione delle idee costruttive trovava molteplici ostacoli nei materiali inadatti e nelle limitate possibilità di lavorazione. Cosí Guericke con i suoi aiutanti durava grande fatica ad adattare esattamente uno stantuffo ad un recipiente cilindrico, e Pascal deplorava le difficoltà che si incontravano nella realizzazione pratica della macchina calcolatrice da lui ideata. Riportiamo qui la lettera di dedica con la quale il ventiduenne Pascal presentava al cancelliere Séguier, nel 1645, la sua macchina calcolatrice (tav. XIV).

Grazioso Signore,
se la comunità ricaverà un qualche utile dall'invenzione che ho fatto per risolvere in modo nuovo e facile ogni sorta di compiti aritmetici, essa sarà per questo assai piú obbligata verso Vostra Grazia che non verso i miei modesti sforzi, poiché io posso solo menar vanto di averla ideata, mentre essa deve la sua effettiva realizzazione completamente alle Vostre nobili disposizioni. La lungaggine e la difficoltà dei metodi fino ad oggi in uso mi hanno indotto all'idea di inventare un mezzo rapido e di facile funzionamento, che mi fosse d'ausilio nei vasti calcoli che mi occupano da molti anni in connessione con gli uffici con i quali avete voluto onorare mio padre per il servizio da lui reso a

Sua Maestà nell'alta Normandia. In questa ricerca ho impiegato tutto il sapere che la mia inclinazione ed i miei studi nel campo della matematica mi hanno procurato. E dopo lunghe meditazioni ho capito che non era cosa impossibile il ritrovare un tale mezzo. Le mie conoscenze di geometria, fisica e meccanica mi hanno fornito il disegno d'una tale opera e mi hanno dato la sicurezza che l'impiego di una simile macchina poteva essere infallibile, se solo un artigiano avesse potuto eseguire lo strumento secondo il modello che io avevo ideato. Ma proprio su questo punto mi sono imbattuto in difficoltà tanto grosse quanto quelle che mi ero proposto di evitare e di superare. Poiché io non possedevo l'abilità di servirmi del martello e del metallo cosí come della penna e del compasso, e poiché gli operai assai piú familiari sono con le loro opere pratiche che non con le scienze sulle quali quelle si fondano, cosí mi vidi costretto a rinunciare al mio proposito, che mi aveva portato tanta fatica ma nessun successo. Ma Vostra Grazia, mio signore, mi ha ridato quell'animo che stava per venirmi meno, e mi ha fatto la grazia di parlare di quei semplici disegni che i miei amici le avevano sottoposto con parole che mi han fatto vedere tutto sotto luce assai diversa da come mi era prima sembrato. Con il nuovo vigore che le Vostre parole mi avevano infuso, ho intrapreso nuovi sforzi. E sospendendo qualsiasi altra attività, ebbi in mente soltanto la realizzazione di questa macchina che ho osato offrirVi, grazioso signore, dopo che l'ebbi compiuta in modo che potesse da sola e senza alcun lavoro mentale eseguire le operazioni di tutti i campi dell'aritmetica, cosí come avevo assunto di fare... [95]

Alla macchina di Pascal per eseguire addizioni e sottrazioni seguí nel 1673 la macchina calcolatrice di Leibniz, per eseguire moltiplicazioni. Queste scoperte del XVII secolo stanno a testimoniare gli sforzi dell'uomo diretti a diminuire con l'impiego delle macchine non solo la fatica materiale ma anche l'attività della mente. Le grandi calcolatrici elettroniche dei nostri tempi con le loro molteplici possibilità altro non sono che conseguenze delle semplici macchine di Pascal e di Leibniz.

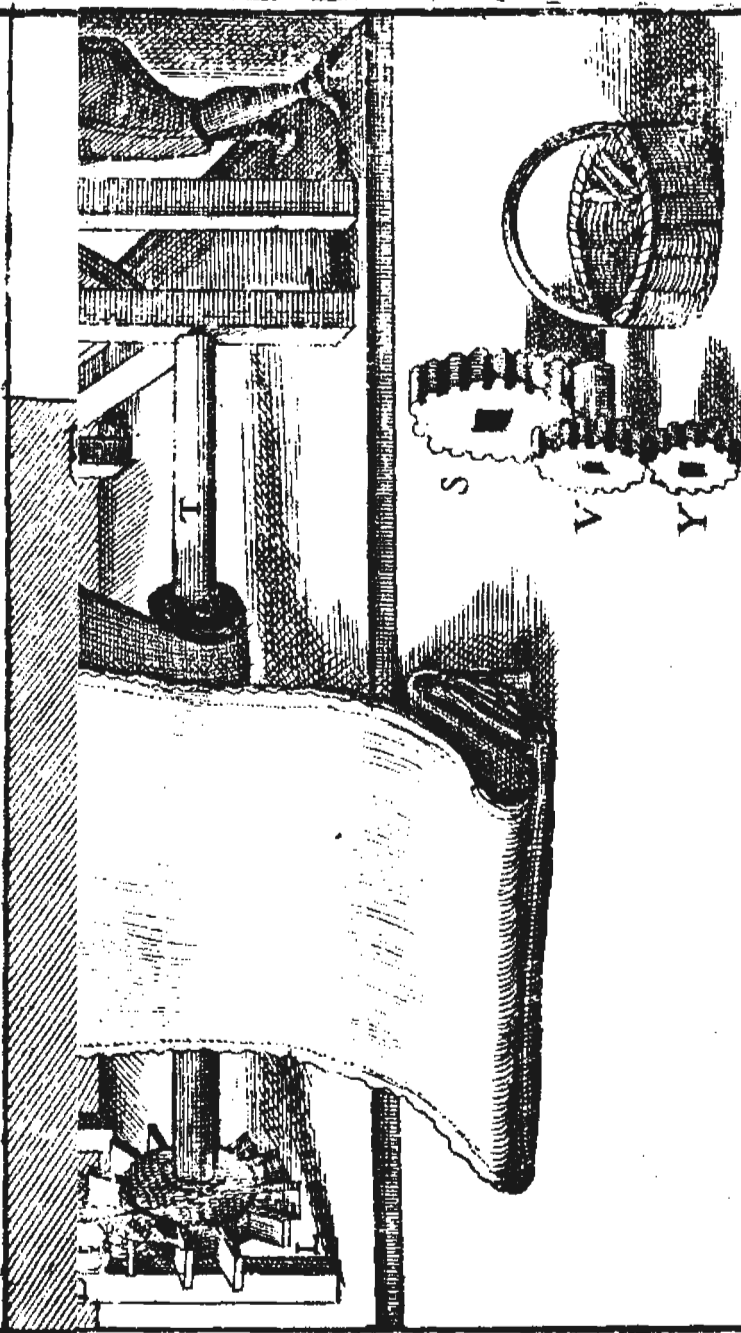
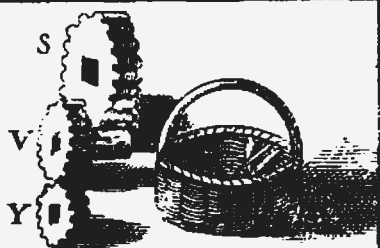
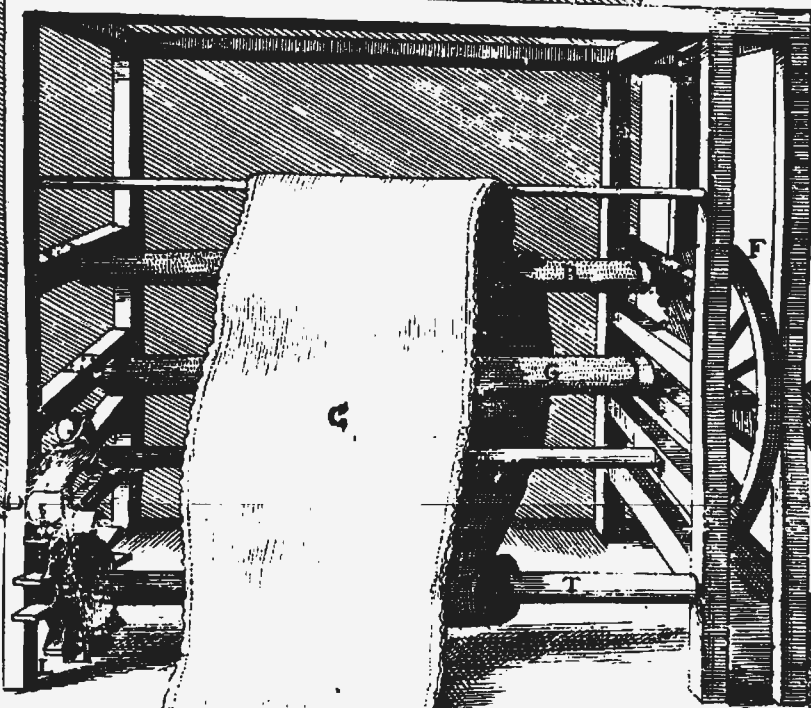
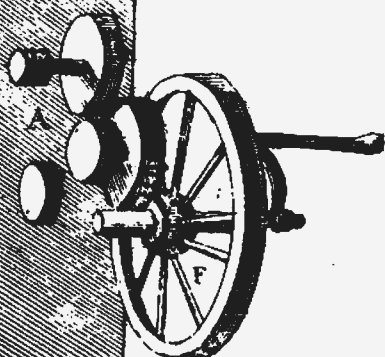
Il XVII secolo estese i concetti della nuova meccanica anche al mondo animato. Santorie Santorio, nel 1614, si propose di determinare con la bilancia la *perspiratio insensibilis*, cioè l'evaporazione dalla pelle dell'uomo. Harvey, lo scopritore della circolazione del sangue, nel 1628 cercò di descrivere quantitativamente il movimento del sangue, come un fenomeno che si svolge nel tempo e quindi rientra interamente negli schemi della dinamica. Il cuore fu paragonato ad una macchina idraulica. Giovanni Alfonso Borelli, tra il 1680 e il 1685, si ingegnò di applicare ai

movimenti degli organismi i principî fondamentali della meccanica: il braccio veniva visto come una leva, il cuore come una pompa. Nelle sue considerazioni il Borelli affermava, nel 1680, che dalla conoscenza degli "stratagemmi" che la natura impiega nei vari organismi animali si può trar vantaggio per risolvere questioni tecniche. Anche in ciò vediamo nuovamente affermato il concetto proprio del XVII secolo, di impiegare tecnicamente le conoscenze scientifiche ai fini dell'utilità generale.

Se ora ci si pone la domanda, se un uomo possa volare con le proprie forze, si deve verificare se la forza dei suoi muscoli pettorali (la cui forza si può giudicare dal loro spessore) sia corrispondentemente grande, cosí grande da superare di diecimila volte il peso di tutto l'uomo, comprese le grandissime ali fissate alle sue braccia. È chiaro che nell'uomo la forza dei muscoli pettorali è di gran lunga troppo piccola per poter volare; infatti negli uccelli la massa ed il peso dei muscoli che servono loro per battere le ali sono non meno di un sesto dell'intero peso del corpo. Quindi dovrebbero anche i muscoli pettorali dell'uomo pesare non meno di un sesto del peso del suo corpo per poter sviluppare, battendo le ali fissate alle sue braccia, una forza che valga diecimila volte piú del peso del suo corpo. Ma ciò è ben lungi dall'essere vero, ché essi non raggiungono neppure la centesima parte del peso complessivo del corpo. Per questo motivo si dovrebbe o aumentare la forza dei muscoli o diminuire il peso del corpo umano, per ottenere lo stesso rapporto che si ritrova negli uccelli.

Da ciò risulta che la scoperta di Icaro è puramente leggendaria, in quanto essa è impossibile; non si può infatti né aumentare la forza dei muscoli, né diminuire il peso del corpo umano; e qualunque tipo di apparecchio s'impieghi, se pur è possibile, per aumentare il momento della forza, tuttavia mai si potrà muovere il corpo, poiché mai la spinta sarà pari alla resistenza; e quindi giammai ali mosse dalla contrazione dei muscoli svilupperanno forza sufficiente per sostenere il pesante corpo dell'uomo.

Resta quindi una sola possibilità, diminuire il peso dell'uomo. Ovviamente ciò non si può fare mediante alterazione del corpo stesso, ma soltanto operando in modo analogo a quando si fa galleggiare sull'acqua un pezzo di piombo con l'attaccargli un pezzo di sughero; anche il pesante piombo può galleggiare, quando la massa del piombo e del sughero valgono insieme tanto, quanto la massa dell'acqua da loro spostata, secondo la legge di Archimede. La natura impiega questo metodo nei pesci, essa dispone nell'interno del loro corpo una vescica riem-

INSTRVMENTO CHIAMATO ORGANA CON
LAQVAL SI GARZA I PANNI DI LANA

LAQVAL SI GARZA I PANNI DI LANA
A
F
F
T
S
V
Y

pita d'aria con il cui ausilio i pesci si mantengono in equilibrio, cosí da potersi fermare in qualsivoglia posta dell'acqua, come se essi fossero una parte stessa dell'acqua.

Ultimamente taluni hanno immaginato di poter portare in guisa simile il peso del corpo umano a galleggiare nell'aria; costoro intendevano attaccare all'uomo un gran recipiente, completamente o quasi vuoto di aria, e cosí grande da poter sostenere se stesso ed il peso dell'uomo ad esso attaccato.

Si comprende facilmente che questa non è che una vana speranza, se si pensa che il recipiente, che dovrebbe sostenere il peso proprio e quello dell'uomo ad esso attaccato, dovrebbe esser fatto di rame o di ottone, per poterne pompar fuori l'aria. Il suo volume dovrebbe poi essere maggiore di 22000 piedi cubici e le sue pareti dovrebbero essere particolarmente sottili. Non sarebbe però assolutamente possibile costruire un recipiente cosí grande e cosí sottile, ed anche quando ciò riuscisse, non sarebbe possibile conservarlo senza danneggiarlo. Soprattutto però non sarebbe possibile vuotarlo con una pompa per aria, e ancor meno mediante il mercurio, perché in tutto il mondo non esiste una tale quantità di mercurio. Ma quand'anche tutto ciò fosse possibile, le sottili pareti del recipiente non resisterebbero alla pressione dell'aria ed esso verrebbe spaccato o schiacciato. [96]

Possibilità di movimento mediante impiego della apparecchiatura illustrata. Nessun uomo intelligente potrà negare che le opere della natura siano estremamente semplici, necessarie e, per quanto possibile, economiche. Anche gli artifíci pertanto, che gli uomini possono escogitare, riusciranno nel modo migliore se si ispireranno alle creazioni della natura e le imiteranno per quanto possibile. Se pertanto vogliamo star fermi o muoverci nell'acqua come pesci, ciò ci riuscirà soltanto se impiegheremo gli stessi artifíci meccanici che la natura utilizza per i pesci. A questo scopo basta che portiamo con noi una grande pompa, RS, assicurandola alla cintura come una spada. La quantità d'aria che essa contiene dovrà essere circa un piede cubico. La piccola apertura in S deve essere chiusa e cementata e lo stantuffo T della parte cilindrica VX deve presentare una perfetta tenuta laterale. Poiché esso può essere tirato fuori o spinto dentro il tubo della pompa mediante la manovella Y, è possibile comprimere o lasciar espandere in misura considerevole l'aria contenuta nella pompa, il che corrisponde perfettamente alla natura dell'aria (tav. XVI).

Supporremo inoltre che l'uomo AF con la sua tenuta, la cintura ed il copricapo BGHC, con la pompa RS e l'aria contenuta in essa,

abbia un peso specifico minore di quello dell'acqua e che la parte superiore MG dell'elmo esca di poco dalla superficie dell'acqua. Se quindi gli si attacca un paio di pezzi di piombo, la massa complessiva del nuotatore aumenta ed egli diviene circa altrettanto pesante dell'acqua, cosí che alfine soltanto la piccola parte G dell'elmo sporge dall'acqua. Si spinga ora lo stantuffo T verso S, in modo che l'aria nella pompa venga compresa: subito lo spazio anteriore TΩ, che prima era occupato dall'aria, viene riempito dall'acqua. A seguito di ciò, lo spazio occupato dall'uomo e dalla pompa diviene piú piccolo di prima, il peso specifico aumenta e diventa quindi pari al peso specifico dell'acqua. L'uomo si trova allora nella condizione di restare fermo in un punto qualunque dell'acqua. Se ora però lo stantuffo T comprime ancora di piú l'aria entro la pompa RS e dell'altra acqua penetra in essa, il peso specifico diventa ancor maggiore e l'uomo scende lentamente da solo verso il fondo. Se ora d'altra parte si muove lo stantuffo T verso E, l'aria si espande per la sua elasticità, l'acqua viene espulsa dallo spazio TR, l'uomo diviene piú leggero dell'acqua e risale, fino a che una parte dell'elmo non giunga ad uscire dall'acqua.

Non è necessario spiegare oltre come l'uomo possa muoversi sul fondo alla moda dei granchi e come possa nuotare in seno all'acqua, remigando con le mani ed i piedi, alla moda delle rane.

La barca che s'immerge, sua costruzione e suo impiego. Dopo che abbiamo mostrato come un uomo possa vivere per un certo tempo in uno spazio chiuso da tutte le parti, quando l'aria racchiusa dentro e che egli respira venga rinnovata, non ci risulterà difficile costruire una barca che, completamente chiusa, possa star ferma sott'acqua come un pesce (tav. XV). E se lo vogliamo, siamo anche in grado di farla muovere verso l'alto, verso il basso o lateralmente. La sua apparecchiatura sarà simile a quella del sopradescritto apparecchio per immergersi, cosí che il peso dell'acqua da essa spostata possa risultare uguale, maggiore o minore del suo proprio peso e che essa possa corrispondentemente star ferma sott'acqua come un pesce oppure salire alla superficie o discendere. Ciò si ottiene provvedendo dei fori M sul fondo EF della barca ACEG e disponendo nell'interno di essa delle sacche di pelle di capra ON fissate mediante chiodi con la loro bocca agli orli dei fori M, cosí che l'acqua non deve però penetrare nell'interno della barca stessa attraverso altri fori o fessure. Con questi presupposti è chiaro che la barca occuperà nell'acqua il minimo spazio quando tutti i recipienti ON in essa contenuti siano pieni d'acqua. Con ciò essa risulterà avere un peso specifico maggiore dell'acqua e quindi calerà a fondo come una pietra.

Se però si caccia l'acqua dai recipienti attraverso le aperture N, mediante ad esempio le aste PO, subito la barca occuperà nuovamente uno spazio maggiore di prima ed avrà peso uguale dell'acqua e galleggerà entro di essa. Non appena diverrà ancor piú leggera, salirà. [97]

Senso della realtà e fantasia furono spesso strettamente connessi nell'età barocca. Particolarmente della spiritualità barocca tedesca fu propria una dualità di profondo senso metafisico e di forte tendenza all'utilità ed all'economia. Cosí Johann Kunckel, specialista della tecnica del vero, pubblicò nel 1676 una *Ars vitraria experimentalis* che doveva esercitare grande influenza in seguito, si proponeva *experimenta* e *rationes* e tendeva con senso economico ad ottenere i prodotti migliori con mezzi e spese minime. Tuttavia in altri passi Kunckel non poteva liberarsi da fantasticherie e inclinazioni alchimistiche. Spiritualmente affini a Kunckel furono due chimici e tecnologhi tedeschi, il vecchio Glauber e Johann Joachim Becher, di lui poco piú giovane. Entrambi incostanti e estrosi, operarono nel campo tecnico e chimico-tecnologico, sempre al fine di elevare l'economia tedesca. Glauber, durante la carestia seguita alla guerra dei trent'anni, nel suo *Opus minerale* e nella sua *Teutschlands Wohlfahrt* [*Il benessere della Germania*], cercava con chiare parole di "onorar Dio e servire la Patria" mediante un'estesa utilizzazione delle materie prime indigene della Germania. Voleva utilizzare economicamente anche il suo tanto lodato *sal artis* o *sal mirabile*, il sale di Glauber (solfato sodico idrato) e le trasmutazioni alchimistiche dei metalli.

Se uno per grazia di Dio trova un piccolo pezzo di metallo / come dagli imperfetti metalli che già si sono scavati e senza fatica dappertutto si possono ottenere / può estrarre con vantaggio un po' di ☉ o di ☽.[3] Non si deve allora pensare / che l'acqua / le arie malsane / gli spettri o altri tristi casi possano da ciò trattenerlo o distoglierlo. Ma se egli ha soltanto denaro / dappertutto può ottenere ♄ / ♃ / ♀ e ♂. Quale tesoro non avrebbe potuto ottenere la Germania in questa lunga guerra trascorsa / se ci fossero stati uomini / che avessero conosciuto questo lavoro. Non sono stati metalli come ♀ e ♃

portati dalla Patria con grandi navi ai nostri nemici? Si pensi / quanto tali metalli di tempo / di fatica e di spesa richiedono / per essere estratti dal suolo / e quindi per qual vile prezzo siano stati acquistati dalle nazioni straniere / e ancora tale asporto non ha fine / che solo da ciò ha origine / che non c'è nessuno / che sa usare tali metalli. Per noi tedeschi è proprio una vergogna / per noi che per il resto in onestà / fedeltà e valore / intelletto e abilità sopravanziamo altre nazioni / ed ora siamo cosí negligenti / e diamo la preferenza ad altri in questo campo. Non fa però meraviglia / che ciò succeda / in quanto l'eccellenza di eminenti studiosi della natura e di chimici esperti non aiuta / previene / e stimola quanto piú può la Patria. Si dovrebbe saper distinguere / fra questi e gli intriganti intraprendenti rovinosi alchimisti / che vogliono insegnar agli altri a far l'oro / e tuttavia non sanno e non capiscono la minima cosa della natura metallica.

La Germania fu meravigliosamente da Dio provveduta / con tutti i generi di miniere piú che ogni altra nazione o regno. Manca solo di gente esperta / che le sappia ben sfruttare / e sappia trar fuori tutto il legno e le altre cose necessarie (per trarne vantaggio). Perché siamo cosí male avveduti / che il nostro rame in Ispagna o in Francia / e il piombo in Olanda e a Venezia inviamo / per farne verde di Spagna e biacca di piombo / che poi qui nuovamente a piú caro prezzo acquistiamo. Forse che il nostro legno / la nostra sabbia e la nostra cenere in Germania non sono cosí buone come a Venezia ed in Francia per produrre il cristallo? E quante altre cose simili ci sono / che meglio si potrebbero in Germania produrre che in altri paesi / e che tuttavia non si pongono in lavorazione. Mentre potremmo vendere ad altre nazioni le nostre eccedenze guadagnando denaro / lo portiamo fuori dal paese arricchendone altri e privandocene noi. Quanto utile potrebbe ricavare la Germania dai regni con essa confinanti / se solo lo volesse / e se ne rendesse conto? *In summa* / quando Dio vuol punire un paese / ne toglie via anzitutto la gente intelligente / e quando la vuole benedire / egli ve ne manda. Come sarebbero altrimenti divenute cosí grandi e potenti Venezia fin poco tempo fa e oggigiorno in Olanda Amsterdam / se non grazie ad uomini di grande abilità e intelletto / che esse hanno attirato a sé / imparandone utili invenzioni e manifatture d'arte / che esse hanno condotto in gran quantità per tutto il mondo con le loro navigazioni / e che han riportato invece in patria grandi quantità di ☉ e ☽? È assai meglio / che si abbia da vendere agli altri / che non che si debba da altri comprare. Che cosa manca a noi in Germania / che Dio e la Natura non ci abbiano per tutti i bisogni donato

con ricchezza ed abbondanza / se solo lo comprendessimo o lo volessimo comprendere? Il mangiare ed il bere son divenuti cosí comuni / che solo che a uno sia avanzato da un giorno all'altro un pezzo di pane / non trascura / di cacciarselo in gola / e facendo baldoria trascorre inutilmente il suo tempo. Ed anche in particolare nessuno si sogna di addestrarsi nelle buone arti / o di tendere ad acquistare virtú e sapienza / ma tutti amano invece l'ozio / odiano e perseguitano le scienze e le arti buone ed utili al paese / cosí che anche Dio per giusta ira ci manda sempre un castigo e una pena dopo l'altra / e si deve riflettere / se alcun miglioramento (al quale nessuno intende provvedere) non interviene / una piú grande ancora (che Dio ce ne voglia misericordiosamente guardare) non andrà guari che ci colpisca. [98]

Cosí come ad ogni bambino / secondo il severo comando di Dio / è fatto obbligo di amare con tutto il cuore i suoi genitori / di rispettarli / e di essere loro fedele e ubbidiente fino alla morte in tutte le cose oneste / cosí pure e non meno ad ogni suddito e cittadino, non solo di essere fedele e ubbidiente in tutte le oneste cose al Capo e Padre della sua terra, da Dio di tal potere investito / si trova / parimenti esser fatto obbligo / ma anche di aiutarlo, proteggerlo e difenderlo per quanto in suo potere dai suoi nemici / e di prevenirlo e salvarlo dalle sciagure.

Renderò noto a tutto il mondo in questo mio trattatello / che i piú utili ed eccellenti *secreta*, dei quali nelle quattro parti pubblicate / del *Benessere della Patria* / ho trattato, in parte aperte, in parte *obscure* / per tutto quest'anno / ho intrapreso a dimostrare a persone di alta e bassa condizione nel mio "Laboratorio Pubblico & Privato."[4] Fra i quali utili secreti i migliori sono i tre seguenti.

In primo luogo come da *subjecta* poco considerati e ritrovabili in ogni luogo si prepari un buon salnitro.

Secondariamente / come con il salnitro volatile / ed anche fisso oro / argento / e rame / si possano trarre *in copia* dai minerali con grande utilità, senza fonderli.

Per terza cosa si mostrerà pure / come l'alchimia sia veritiera / e non un sogno / una fantasia o un inganno / come finora è stato detto da gran parte delle masse ignoranti. Bensí come tutti i piú modesti e meno considerati metalli e minerali, come / il piombo / il ferro / il rame / lo stagno / anche il bismuto / il coboldo[5] / lo zinco / il calmey, la marcassite o la pirite/ e tutti gli altri minerali volatili e poco considerati / con il solo uso del fuoco e del sale / fissi e durevoli si facciano / e con gran guadagno / e poca spesa / molto oro ed argento consistenti

si traggano.

Questi tre fatti mi sembrano essere degni e gradevoli / da comunicare agli alti capi / padroni e patrioti della Patria amata, da buon suddito.

Perché però si possa vedere / quale grande incredibile guadagno possa venire al paese da queste tre cose / cosí ho pen pensato / di darne una dimostrazione.

E per prima cosa, per quanto riguarda il salnitro / quanto sia esso utile / ed anche assai necessario *subjectum* / già a tutto il mondo è ben noto / e quindi che di esso non ve ne può essere giammai troppo / che non possa essere usato con utilità / ed impiegato. Non occorre dire / che di esso per la preparazione della polvere da sparo / arma preziosa contro i nemici della Patria non si può addirittura fare a meno. Cosí pure grandi tesori d'oro e d'argento da tutti i minatori poveri / che non potrebbero sostenere le spese per la loro fusione / sono tratti in gran quantità per il bene della Patria / e mai l'oro o l'argento saranno in cosí gran quantità / da non risultare piú utili per il paese. Ed anche quando proprio non ci fosse piú bisogno di polvere da sparo né di oro né di argento / e un tale momento è ancora assai lontano / non si può tuttavia fare a meno del gradito pane / ed il grano / la vite / e tutti gli altri alberi da frutto crescono assai di piú / quando il grano prima della semina viene con esso [salnitro] ammorbidito / ed appena un po' se ne sparge alle radici degli alberi e delle viti / ed anche tutti i frutti / cresceranno cosí / e matureranno assai prima / ed anche di piú gradevole sapore / che non con il puzzolente letame. Se si può allora preparare *in copia* il salnitro, un cosí meraviglioso indispensabile *subjectum*, sí facilmente con legno e pietra / e trar fuori oro buono ed argento in quantità da vili pietre e sabbie / che altro si dovrebbe esigere da esso / se non di ottenere con ciò la sanità del corpo / per godere i buoni doni di Dio in pace / tranquillità / e salute? La quale salute e lunga vita può pure il salnitro completamente dare.

Riguardo / l'alchimia, o trasmutazione dei metalli vili in oro ed argento / dico in verità / che essa non è vano sogno / né opinione infondata, ma una ben sperimentata verità / che io con l'aiuto e l'assistenza di Dio mi sono proposto dopo giusta riflessione di dimostrare *publice* quest'estate per il bene della Patria.

Poiché poi il ferro / piombo e sale fra tutte le altre vili sostanze minerali la Patria dappertutto nasconde gran quantità / e tuttavia con esse non si crea ora alcunché di utile. Non si può quindi sbagliare / che quando in molti luoghi della Germania si installassero tali fonderie

/ non si dovrebbero né potrebbero in pochi anni ricavare grandi tesori.

Ma su ciò io ancor piú aprirò gli occhi all'amante della verità / e gli mostrerò / come tutto ciò possa accadere / e diventare vero / e dirò quindi / che in queste fonderie non v'è bisogno di metalli puri quali il ferro / il piombo / il rame / e lo stagno / poiché gli stessi si possono in altra guisa ottenere: ma che i comuni, naturali sali antimoniali / o sulfurei del piombo / dai quali per altra via non si può trarre alcuna quantità di piombo commerciabile / ed anche gli analoghi minerali di ferro / o di rame / che per natura non si possono fondere / e non si può trarne alcuna quantità di ferro o di rame commerciabile / si possono impiegare in queste fabbriche: e che quindi queste fabbriche senza piombo / ferro / o rame / ma soltanto con i minerali ed i sali possano lavorare / i quali minerali volatili / e sali grezzi tutti i terreni contengono in gran quantità / e quindi non si deve mai temere alcuna carestia.

Io spero quindi in Dio / che mi dia tanta forza / intelligenza e salute / che io possa quest'estate la vera e genuina / ed utile alchimia, o trasmutazione dei metalli vili in oro ed argento / per la gloria di Dio / per onore della verità / e per gran vantaggio della Patria / *publice* dimostrare. [99]

Dimostrazione fondamentale / che il nostro *sal artis* a tutti gli uomini del mondo / grandi e piccoli / di elevata o di bassa condizione, nonché a tutti gli artisti e artigiani / fino al piú modesto contadino / può essere di grande servigio ed aiuto.

In primo luogo si mostra / che quando questo sale non fosse utile ad altro / che ad ammorbidire il grano per la semina / se ne trarrebbe in tal modo una messe cosí grande di spighe / e la moltiplicazione raggiungerebbe tali valori / che esso risulterebbe di gran utile a tutti gli uomini del mondo / poiché nessuno può viver senza pane.

Se quindi il contadino con minor fatica e spesa piú frutti raccoglie / che operando nel modo noto e comune / ei potrà anche pagare in misura tanto piú equa il suo debito annuo verso il padrone / ed in tal modo le persone del ceto superiore potranno goderne piú riccamente / per i bisogni della loro vita e della loro autorità.

E poiché anche gli artigiani e gli artisti possono con ciò piú facilmente soddisfare i loro piani / cosí esso è utile a tutti / ed anche i grandi signori con loro ne godono.

I teologi ne hanno materia per porre davanti agli occhi dei loro discepoli i miracoli di Dio in questo ultimo *seculo* / e per trattenerli dal peccato / e per iniziarli ad una nuova vita / per ammonirli su materia

e cause.

I giuristi o dottori del diritto dovrebbero da cotali molteplici grandi inauditi miracoli / cosí compiuti da questo sale / poter equamente notare / che Dio non lascia nulla accadere a caso / ma che intende invece mostrarci / che un gran cambiamento deve presto accadere nel mondo intero: e quindi mantenersi fedeli al buon diritto e alla giustizia / e sforzarsi dovrebbero / a non violare la legalità / per amore del denaro / che non li può salvare / a non far dritto il torto / e torto il dritto / con gran danno e perdita del loro prossimo / e grave pregiudizio per la salvezza dell'anima loro.

I medici hanno motivo di ottenere con ciò migliori medicamenti / e ragione per mostrare maggior diligenza verso i loro pazienti / e non martoriarli tanto a lungo / e per amore del vile, fuggevole denaro lasciarli contorcersi come Cristo in croce senza aiutarli / ché assai prima potrebbero soccorrerli / se avessero buoni medicamenti / e non per amore degli scudi / far di proposito tante visite inutili.

Cosí anche i farmacisti ed i chirurghi / posson trarne motivo / di preparare medicamenti, empiastri / e unguenti di maggior efficacia / con i quali curare piú in fretta e con maggior successo i loro pazienti.

Ogni artista o artigiano / potendo compiere il suo lavoro piú facilmente con l'aiuto di questo sale / potrà anche la sua opera ed il suo lavoro ai suoi fratelli in Cristo ad un prezzo piú basso / cedere / che non prima / quando doveva compiere l'opera sua con maggior spesa e fatica.

Parimenti possono i venditori ed i commercianti rendersi conto / che se hanno meglio comprato la loro merce / possono pure rivenderla agli altri ad un prezzo piú basso.

E se il contadino e l'agricoltore / l'ortolano / e gli altri simili coltivatori dei piú necessari alimenti / possono produrre i loro frutti piú facilmente / piú rapidamente / piú completamente / con maggior maturazione / ed in quantità piú abbondante / di quanto non facessero prima / potranno anche acquistarne di piú, o di miglior qualità / o rivenderli a prezzi piú modesti / ed in tal modo potranno goderne tutti gli uomini / giovani e vecchi / grandi e piccini / ricchi e poveri / di alta o di bassa condizione.

Da ciò può ciascuno vedere / quanto grande utile e beneficio possa portare il nostro *sal artis* a tutti gli uomini del mondo.

Chi non vorrà ora essere tanto onesto e pio / da ricercar questo sale / e da disporre ed usare del medesimo / per il bene suo e del suo prossimo? [100]

Nell'età barocca, peregrinando di corte in corte, coloro che avevano studiato un progetto si trovavano spesso davanti un abisso fra la loro idea e la sua pratica realizzazione. Agli sforzi nel campo dell'alchimia corrispondeva nel campo della costruzione di macchine la progettazione di meccanismi spesso assai complicati, fra i quali non mancava il *perpetuum mobile,* la macchina dotata di moto perpetuo. Il Bockler nel 1661 forní un'accurata descrizione di un moto perpetuo apparso per la prima volta nel 1629, che impiegava una ruota idraulica, una coclea e alcune ruote dentate (tav. XIII b).

Meccanismo con coclea e ruote dentate (tav. XIII b). Questa ingegnosa invenzione tende ... a produrre un movimento continuo, in quanto l'inventore lascia scorrere l'acqua dalla cassetta A, attraverso B, sulla ruota idraulica C, sul cui albero è disposta una vite senza fine D, con l'ausilio della quale la ruota dentata E trascina con il suo albero la ruota F ad esso assicurata, che a sua volta ingrana nei perni del rocchetto G (ruota a piuoli), facendo cosí girare l'albero H, in modo che il rocchetto girevole superiore J fa ruotare uniformemente la ruota a pettine L e quindi l'albero M, cosí che infine la ruota a pettine R ingrana nel rocchetto S della coclea, la fa girare e riporta quindi in alto attraverso Q l'acqua che prima era caduta attraverso B. Affinché però con questa invenzione o *machina* si possa compiere un qualche lavoro utile, l'autore ha disposto sull'albero principale un paio di ruote per affilare.

Con questo meccanismo si deve ... sapere se si può avere abbastanza acqua o no, ... sulla qual cosa ogni artigiano è tenuto a ben riflettere. [101]

Tecnica e libere chiese

Abbiamo già sottolineato (cfr. p. 179) il fatto che nel XVII secolo i paesi con Chiese e sette riformate in cui operò la dottrina calvinista, ebbero, una parte preponderante nell'ascesa delle scienze naturali sperimentali e nella loro applicazione a scopi utili, come pure nel progresso economico generale. Non tanto le tesi della piú dotta teologia, quanto i precetti dell'etica pratica del tardo calvinismo, anche nel XVII secolo, ebbero un influsso stimolante sull'applicazione alle questioni scientifiche, tecniche ed economiche. Fu Max Weber che per primo additò nel 1904-1905 questa dipendenza fra l'etica calvinistica e lo sviluppo dell'economia. Troeltsch, Cunningham, Tawney, Müller-Armack ed altri dedicarono successivamente ulteriori ricerche a questo campo. Lecerf, e ancor piú acutamente Merton, hanno dimostrato in quale ampia misura l'etica calvinistica abbia dato impulso alla ricerca scientifica ed alla creazione tecnica.[6]

Nella sua dottrina Calvino svolse fino alle piú estreme conseguenze la teoria della predestinazione. Fra Dio ed il mondo esiste un abisso, che può essere valicato soltanto da Dio stesso. L'uomo è predestinato da Dio alla salvezza o alla dannazione. Né le buone opere, né la fede, né l'intercessione della Chiesa possono influire sulla decisione di Dio. All'uomo, la cui angoscia domanda sulla salvezza della sua anima non può trovare risposta, restava soltanto la piú rigorosa obbedienza ai comandamenti di Dio e l'incessante, faticoso lavoro in questo mondo. Il tardo calvinismo vide addirittura nel successo del lavoro su questa terra un segno esteriore di intimo stato di grazia. Si intendeva coronato dal successo quel lavoro che consisteva in un'incessante creazione di opere utili per il benessere degli uomini e per la gloria di Dio. In ciò consisteva l'"ascesi terrena" (Weber) del puritanesimo calvinistico. Questa concezione doveva portare anche ad una inclinazione favorevole per la ricerca scientifica e l'operosità tecnica. Il calvinismo rifiutava anche le idee platoniche: per le scienze naturali ciò significava via libera all'esperimento (vedi p. 12). Nel 1663, fra i sessantotto membri della Royal Society, che dava particolare importanza alla ricerca sperimentale, ben qua-

rantadue erano puritani, come ha indicato il Merton[7]; fra questi, S. Hartlib, Sir William Petty, Robert Boyle, D. Papin e T. Sydenham. Particolarmente nell'industria mineraria e siderurgica inglese, e piú tardi in quella tessile, gli imprenditori ed i tecnici puritani ebbero una parte preponderante.

Sulla ricerca scientifica e le sue applicazioni cosí si esprimeva il religioso John Wilkins:

La nostra piú alta e divina sapienza ha per iscopo l'azione, e si possono tener in conto di vani quegli studi che non hanno una applicazione pratica come loro proprio fine. [102]

Lo studio della natura serviva, come affermava anche il puritano Boyle, alla gloria di Dio ed al bene degli uomini:

Nulla v'è di arrischiato nel congetturare che nella creazione del mondo sublunare ed in quella del molto superiore mondo delle stelle fisse risiedono almeno due sublimi obbiettivi di Dio: la manifestazione della sua propria gloria ed il bene degli uomini. Forse non sarà difficile per te comprendere come coloro che si affannano a distogliere gli uomini dall'assiduo studio della natura si mettano su una via che, (sia pure, come devo confessare, a loro insaputa) porta alla negazione dei suddetti obbiettivi divini. [103]

Nel suo testamento indirizzato ai membri della Royal Society compare lo stesso concetto:

Vi auguro anche buon successo nelle vostre lodevoli ricerche, intese a scoprire la vera natura delle opere di Dio; e prego che voi e tutti gli altri ricercatori di verità scientifiche e naturali sappiate nel giusto modo riferire le vostre conoscenze alla gloria del grande Creatore della natura ed al benessere dell'umanità. [104]

L'etica pratica del puritanesimo con i suoi postulati di una vita estremamente rigida e di una infaticabile laboriosità ebbe grande importanza anche ai fini della creazione tecnica. Ne leggiamo una chiara esposizione nel *Christian Directory* [*Regola cristiana*] di Richard Baxter, del 1664-65.

Ancorché Dio non abbisogni di alcuna nostra opera, Ei tuttavia si rallegra di quelle buone, e tanto piú se son dirette a magnificarlo o se hanno per fine l'utile nostro e quello degli altri, e ne gode...

Domanda: Non devo io rinunciare al mondo, al fine che i miei

pensieri possano essere solamente diretti alla salvezza dell'anima mia?

Risposta: Tu devi liberarti da ogni eccesso di preoccupazioni ed incombenze mondane, poiché ciò ti distoglie dai tuoi doveri spirituali. Ma non devi rinunciare ad ogni occcupazione fisica e ad ogni lavoro intellettuale, attraverso ai quali anzi devi servire al bene della comunità. Tutti coloro che fanno parte della chiesa o dello stato devono dare il loro apporto, nella misura piú grande possibile, per il bene di quelli. Un ufficio pubblico è il piú egregio degli uffici divini. Trascurarlo, dicendo: "Voglio pregare e meditare," sarebbe come se un tuo servo rifiutasse i tuoi piú importanti lavori e volesse dedicarsi ad un lavoro meno pesante. E Dio ti ha comandato di lavorare in questo o quel modo per il tuo pane quotidiano, e non di vivere, come i fannulloni, soltanto del sudore degli altri...

Domanda: Deve ciascuno, per agire nel modo migliore, rinunciare ad ogni lavoro mondano ed esteriore e ritirarsi nella vita contemplativa come in quella piú eccellente?

Risposta: No, nessuno deve agire in questa maniera, senza una particolare necessità o vocazione. Poiché esistono precetti generali per tutti, di vivere per l'utilità degli altri, se di ciò sono capaci, e di porre in prima linea il bene comune. Cosí abbiamo occasione di operare il bene a vantaggio di tutti gli uomini, di amare il nostro prossimo come noi stessi e di fare ciò che desidereremmo fosse fatto a noi. Tutto ciò ci induce a svolgere diverse attività. Ed inoltre dobbiamo lavorare, prima di mangiare. E se un uomo senza necessità rinuncia a tutte le attività mondane, nelle quali può essere di utilità ad altri, ciò significa che egli cela e nasconde le facoltà dategli da Dio, neglige la carità e si rende gravemente colpevole contro la legge dell'amore. Poiché siamo dotati di corpo, anche questo deve svolgere il suo lavoro, cosí come l'anima nostra...

Sta' in guardia contro l'ozio e lasciati prendere completamente dalle assidue occupazioni della tua giusta professione, se non ti dedichi al diretto servizio di Dio...

Lavora alacremente nella tua professione, perché il tuo sonno possa essere sereno... Affatica il tuo corpo nel lavoro quotidiano... Cerca di scegliere una attività che occupi tutto il tempo che ti avanza dal diretto servizio di Dio...

Domanda: È il lavoro necessario per tutti? O per chi, se non per tutti?

Risposta: Esso, come un dovere, è necessario per tutti coloro che possono compierlo. Ma per quelli che non vi sono adatti, esso non è

necessario, come per i bambini, gli ammalati, gli insani di spirito, che non sono in grado di esercitarlo, per i prigionieri, per uomini che ne siano assolutamente impediti da altri, e per coloro che non ne sono capaci per la loro età o per altri motivi, che ugualmente rendano impossibile il lavoro.

Domanda: Quale genere di lavoro è necessario?

Risposta: Qualsiasi lavoro, che faccia uso delle facoltà dell'anima e del corpo e che per quanto possibile sia utile agli altri ed a noi stessi. Ma in nessun modo è uno stesso lavoro necessario per tutti...

L'attività è la meta naturale delle nostre forze, e le forze stesse sarebbero inutili, se esse non fossero intese all'azione...

Dio provvede a noi ed alle nostre capacità, affinché noi possiamo essere attivi. Il lavoro è pertanto la meta della forza, sia per via di costume che per via di natura. È l'impiego della forza che ci è data. Con una solerte attività si serve Dio nel modo migliore. Lo si serve assai meno con la possibilità di fare il bene, che non con il farlo realmente. Chi infatti terrà presso di sé un servo che lavorare può, ma non vuole? Varrà a soddisfare la tua aspettativa la sua sola capacità?

Il bene pubblico o la felicità di molti devono stare al di sopra del nostro proprio bene. A ciascuno spetta di compiere per gli altri quanto piú bene può, particolarmente nei riguardi della chiesa e dello stato. E ciò non si farà con l'ozio ma con il lavoro. Come le api lavorano per riempire il loro alveare, cosí pure deve l'uomo lavorare per il bene della comunità alla quale appartiene e nella quale risiede il bene suo, come parte del benessere generale...

Se anche nei *Proverbi* di Salomone (23, V, 4) è detto: "Non affaticarti a diventare ricco, ciò significa soltanto che tu non devi fare della ricchezza la tua meta principale. La ricchezza per le nostre soddisfazioni corporali non deve essere posta come scopo né deve esser ricercata. Ma lo deve essere se con essa ci si prefiggono scopi piú alti. Ciò significa che tu devi lavorare nel modo che piú può portarti al successo ed al giusto guadagno. Tu sei tenuto a sfruttare tutte le possibilità che ti sono state date da Dio. Ma allora il tuo scopo dev'essere quello di renderti maggiormente atto a servire Dio e di fare ancor piú bene di quanto tu non ne abbia. Se Dio ti mostra una strada, seguendo la quale ed agendo rettamente tu possa guadagnare di piú, senza danno per l'anima tua o per quella del tuo prossimo, di quanto tu non possa fare seguendone un'altra, e se tu quella ricusi e segui la strada che ti porta meno vantaggio, tu intralci cosí il compimento di uno degli scopi della tua vita e ti rifiuti di fare l'amministratore di Dio e di accettare i suoi

doni, per poterli adoperare a vantaggio di Lui, quando egli te lo chieda. Tu devi lavorare per essere ricco per Dio, non per essere ricco per una vita di piaceri materiali e di peccato. [105]

Sii laborioso e diligente nel tuo mestiere. I precetti e la necessità te lo impongono. E se tu servirai Dio lietamente con il lavoro delle tue mani, con pietà e ubbidienza, ciò Gli sarà tanto gradito quanto una vita condotta impiegando tutto il tempo in pratiche spirituali... [106]

Impiega il tuo tempo piú per fare il tuo dovere che non per indagare sulla tua condizione. Non chiedere "Come posso sapere se sarò redento?" ma chiedi piuttosto "Cosa devo fare per essere redento?"... Applicati ad una vita pia e santa, e fai tutto il bene di cui sei capace in questo mondo. Ricerca Dio, quale Egli si mostra mediante il nostro Redentore; e se tu farai ciò, la Grazia si renderà ognor piú manifesta. La tua coscienza ti accuserà e ti condannerà meno, crederà in misura maggiore alla misericordia di Dio. Tu devi essere sicuro che un tale lavoro non andrà mai perduto; e, facendo il bene, tu puoi affidare la tua anima a Dio. Cosí coloro che non riescono a dimostrare a loro piena soddisfazione quale sia la loro condizione, riceveranno dal sentimento e dalla esperienza quel conforto che ad altri perviene attraverso le conclusioni della ragione. Poiché il vero officio dell'amore verso Dio e verso l'uomo, l'attività di uno spirito pio e una santa condotta di vita portano con sé gioie tangibili e soddisfano pienamente l'uomo che le pratica.

Se per esempio un uomo volesse trarre conforto dalla sua dottrina e sapienza, ci sarebbe modo di criticare la sua saggezza e di concludere che egli persegue solo la propria felicità. Ma c'è un altro modo di impiegare la dottrina e la sapienza: leggere libri difficili e compiere scoperte di grande portata nel campo delle scienze e delle arti. Queste scoperte lo rendono maggiormente felice con la loro reale sostanza che non una pura speculazione razionale.

Quale vera gioia ebbero gli inventori delle carte di navigazione marittima e dell'attrazione magnetica, o l'inventore dell'arte della stampa o del cannone a polvere? Quale soddisfazione s'impadroní di Galileo quando con il suo cannocchiale trovò le ineguaglianze e le ombre della Luna, i satelliti Medicei [lune di Giove], il compagno di Saturno [gli anelli di Saturno], i cambiamenti di forma di Venere e le stelle della via Lattea? [107]

Il puritano deve utilizzare al massimo il suo tempo; Dio stesso lo chiama al lavoro. Tale concetto viene ripetuto dal Baxter in mille modi diversi.

Impiegare bene il proprio tempo vuol dire badare a non dissiparlo in cose di nessun conto, ma utilizzare ogni minuto come preziosissimo... Il tempo deve venir impiegato particolarmente per opere relative al bene generale... È Dio che ti chiama al lavoro: e tu vorresti riposare o fare altre cose quando Dio si aspetta che tu compia il tuo dovere?...

Oh, dov'è andata la loro ragione e di quale metallo sono i loro cuori induriti, se questi uomini si giocano e perdono il loro tempo, quel solo poco tempo che loro è dato per provvedere all'eterna salvezza dell'anima loro?

Certo non può essere tua intenzione il desiderare alla tua morte di non aver mai lavorato nella tua giusta professione... Ma anzi dovrai desiderare, se tu pensi a te stesso, di non aver mai perduto neppure un solo minuto di tempo e di non esserti mai perduto in inutili e vani tentativi e ricerche che sono solo occasione di peccato... Oh, come giusto sarebbe invece il desiderio di aver ricavato molte cose da ogni minuto...

Pensa a come il tempo piú non torna quando è trascorso; coglilo, o sarà per sempre passato. Tutti gli uomini di questo mondo, con tutta la loro forza e la loro saggezza non possono ricondurre indietro un solo minuto del tempo passato. [108]

Qui il puritanesimo non si limita a dire "utilizza il tempo!"; l'incitamento suona già "utilizza il minuto!" Questa piccola unità temporale, il minuto, già si fa strada nella coscienza generale. La sfera dei minuti negli orologi pubblici costituisce l'espressione esteriore di tale concezione. L'incitamento "non perder un minuto di tempo!" aveva ancora, nel XVII secolo, radici religiose: proprio per questo riuscí a smuovere tante forze. Nel XVII secolo la religiosità andò perduta, rimase soltanto, freddamente, "il tempo è denaro."

A questo proposito si deve tener presente anche la relazione che intercorse fra il calvinismo e la fabbricazione di orologi a Ginevra e in Inghilterra nel XVII e XVIII secolo.

Le chiese riformiste e le sette religiose inglesi, i cui membri vengono designati con la denominazione comune di puritani, stavano al di fuori della chiesa di stato anglicana. Gli appartenenti a queste libere sette in molti casi non potevano coprire cariche pubbliche; per tal motivo furono costretti a limitare la loro azione alla sfera economica e industriale, dove pure la loro etica di lavoro li portò ad essere operosissimi.

Alle sette economicamente piú attive del XVII e XVIII secolo appartenne anche quella dei quaccheri, che dopo molte persecuzioni fu ammessa e tollerata in Inghilterra nel 1689. Famiglie quacchere ebbero grande parte nello sviluppo dell'attività mineraria e siderurgica inglese (vedi p. 269).

Anche costoro si distinguevano per una concezione profondamente democratica e una forte tendenza ad una instancabile attività pratica; la loro condotta di vita era semplice e rigidamente regolata. Significativo il fatto che nella *Apologia della vera teologia cristiana* del quacchero Barclay fra le occupazioni adatte per le pause ricreative fossero raccomandate anche le ricerche di geometria.

Ci sono ancora altre alternative che servono a sufficienza per il divertimento dell'animo, e cioè visitare gli amici, leggere o sentir leggere istorie, discorrere con modestia dei fatti presenti o passati, preparare alcunché nel giardino, dedicarsi alla geometria ed eseguire ricerche in questo campo, o altre simili, per le quali tutte non ci si deve però dimenticare di Dio, nel quale tutti abbiamo vita, esistenza ed essenza... [109]

L'intesa attività ed i molteplici successi ottenuti nel campo della scienza e della tecnica animarono i puritani di una gran fede nel progresso. Ma, a differenza della fede laica dei tempi successivi, nel XVII secolo, questa portava a credere oltre che nel progresso tecnico anche in un miglioramento della morale, della concezione cristiana della vita.

Diligenti ricerche in patria e viaggi in terre lontane hanno portato a nuove osservazioni e conoscenze, a scoperte e invenzioni di cose ignote. Noi superiamo in tal modo le epoche precedenti, ed è probabile che chi in tal guisa procede, lasci lontane dietro a sé tutte le epoche passate... E perché non ci si deve attendere un corrispondente perfezionamento nel campo della sapienza divina, della morale e della concezione cristiana?... Esiste forse qualche motivo per il quale Iddio non debba benedire la religione quanto le arti? [110]

Le grandi imprese tecniche

La tecnica meccanica del XVII secolo si avvaleva ancora, come già piú volte abbiamo rilevato, di semplici mezzi tradizionali. Le imprese tecniche particolarmente grandi e difficili, quali a volte si presentavano nelle corti dell'età barocca, venivano risolte mediante la composizione di molte forze semplici, tutte coordinate al compimento di un determinato lavoro da una unica volontà. Già all'inizio dell'età barocca troviamo un'impresa tecnica di grande rilievo, nella quale tuttavia giocava piú una meravigliosa organizzazione che non una tecnica raffinata. Sisto V nel 1586 incaricò l'eminente architetto e tecnico Domenico Fontana di trasferire nella piazza di San Pietro, l'obelisco alto 23 metri e pesante 327 tonnellate, che era stato portato a Roma da Eliopoli sotto l'imperatore Caligola nel 40 d.C. circa. Furono utilizzati per questa impresa solo argani e carrucole di tipo semplice, impiegando la forza muscolare degli animali e degli uomini. Per l'erezione del colosso furono adoperati circa 800 uomini e 140 cavalli (tav. XVII). Tutto il lavoro doveva essere perfettamente organizzato e nessuno doveva lasciare il suo posto, sotto pena delle piú gravi punizioni. Domenico Fontana, che dirigeva tutta l'impresa, aveva piú volte calcolato il peso del colosso ed il numero degli argani necessari per l'erezione. A quell'epoca non si potevano naturalmente eseguire esatti calcoli statici, poiché la scienza della statica non si sviluppò che molto piú tardi.

Privilegio del papa Sisto V in favore di Domenico Fontana. Noi Sisto Quinto concediamo facultà, & ampia autorità a Domenico Fontana Architetto del Sacro Palazzo Apostolico (accioché possa piú facilmente e piú presto trasportar la guglia vaticana sopra la piazza di San Pietro) di potersi servire sin che dura questa trasportatione di qual si voglia operarij e lavoratori e delle cose loro, sieno di che qualità si voglino, e di sforzarli anche bisognando a prestargliele o vendergliele, soddisfacendoli però della dovuta mercede.

Che si possa servire di tutte l'asse, travi, e legnami di qual si voglia sorte, che sono ne' luoghi piú comodi a questo servitio, sieno di chi si voglino, pagando però il debito prezzo alli padroni d'essi legnami secondo che sarà giudicato da due arbitri da eleggersi dalle parti, e che possa tagliare o far tagliare tutti quei legnami ch'in qual si voglia modo appartengono alla Chiesa di San Pietro, suo Capitolo, e Canonici, e particolarmente della tenuta detta di Campomorto, o all'Hospitale di San Spirito in Sassia, o alla Camera Apostolica senza pagamento alcuno, e possa condurli per qual si voglia luogo, et in esso far pascere gli animali che serviranno a questa opera senza incorrere in pena alcuna rifacendo però il danno fatto, secondo che sarà stimato da huomini periti da eleggersi per questo effetto.

Che possa comprare e portar via le suddette cose ogn'altra a ciò necessaria da qual si voglia persona senza pagar gabella o datij d'alcuna sorte.

Che possa senza licenza o bollettino pigliare in Roma, e nell'altre città e luoghi vicini, ogni sorte di vettovaglia per uso suo proprio, de' suoi ministri et animali.

Che possa pigliare e portar via dovunque si troveranno, argani, canapi, e traglie, ancora che spezzate, promettendo però di rifarle, e restituirle intiere, e pagando la debita mercede o fitto; che medesimamente possa servirsi di tutti gli instrumenti e cose della fabbrica di San Pietro, e comandare agli agenti, ministri e offitiali di detta fabrica ch'in debito spatio di tempo rendino libera e netta la piazza a canto la guglia, per potervi condurre e accomodare quanto bisognerà per quest'opera.

Che possa (se cosí sarà necessario) gettare o far gettare a terra le case vicine a detta guglia, trattando però prima del modo di rifare il danno a chi si doverà.

In somma si dà facultà a detto Domenico Fontana di fare, comandare, essequire et essercitare ogn'altra cosa necessaria a questo effetto; e di piú, ch'insieme con i suoi agenti servitori e persone domestiche, in ogni luogo e d'ogni tempo possa portare ogni sorta d'arme eccetto le prohibite, e si comanda a tutti li magistrati et officiali di tutto lo stato ecclesiastico, ch'in tutte le predette cose aiutino e favorischino il suddetto Domenico Fontana; gli altri poi in qual si voglia modo soggetti alla Sedia Apostolica, d'ogni grado e conditione, che sotto pena della disgratia nostra e di cinque cento ducati di camera et altre pene ad arbitrio nostro, non ardischino d'impedire o in qual si voglia modo molestare la suddetta opera, o esso Domenico, o suoi agenti o lavoratori, anzi

che senza dilatione o scusa alcuna l'aiutino, obedischino, favorischino et assistino contrariis non obstantibus quibunscumque. Datum Romae apud Sanctum Marcum. Die 5 Octobris 1585...

Determinazione del peso dell'obelisco. Avanti ch'io m'accingessi all'impresa, volendo accertarmi di quanto pesava la guglia [alta 23 metri], feci squadrare un palmo [cm. 21,7] della medesima pietra con grandissima diligenza, tagliato da un altro pezzo di sasso simile a guisa d'un dado; e polito che fu, trovai che pesava libre ottanta sei;... trovai che detta guglia veniva a pesar libre novecento sessanta tre mila e cinquecento trentasette e trentacinque quarantottesimi [327 tonnellate]...

Hora, pensando io ch'ogni argano con buoni canapi e traglie mi alzava vintimila libre di peso in circa, trovai che quaranta argani mi averebbono alzato libre ottocento mila di peso, al restante [163.537 libbre] deliberai di porre cinque lieve di travi grossissimi longhi l'uno palmi settanta [13 metri], di modo che non solo io haveva forza per alzare tutto il peso, ma assai d'avanzo; oltre che si potevano sempre aggiongere strumenti nel mio modello, posto ch'i primi non fussero stati bastanti.

Publicata questa mia inventione, pareva che quasi tutti i valenti huomini si dubitasse che mai non si potessero accordare insieme tutti quanti gli argani per fare una forza unita a sollevar cosí gran peso, dicendosi che non potendo tirare al pari, ma l'uno piú dell'altro, come si vede per sperienza, conseguentemente non potevano unir le forze, a talché la maggior parte del peso caricando sopra quell'argano ch'havesse tirato piú di tutti, l'haverebbe rotto, e che di qui si poteva causare lo scompiglio e disordine di tutta la machina.

Io niente di meno, all'incontro, ancora che non havessi mai visto né praticato tanta forza insieme, né meno potendone esser chiaro per relatione alcuna, sempre fui sicuro di poterlo fare per questa ragione, per che io sapeva che quattro cavalli, tirando uno di quei canapi, ch'io havea ordinato che si facessero a tutta lor possa, non lo potevano rompere; però quando ciascuno havesse avuto troppo peso adosso, non si sarebbe potuto piú voltare; né meno come sopra dissi il canape si poteva rompere, e di questo n'era io chiaro per esperienza. Hora, mentre che questi argani troppo carichi non si fussero potuti piú voltare, gli altri argani piú lenti si sarebbero voltati fino a tanto ch'essi ancora havessero havuto la parte loro del peso, di maniera che, pigliando ogni argano adosso la sua portione, quel primo che fusse stato troppo carico, fattoli poi spalla dall'altro, haverebbe cominciato a potersi voltare in modo che da lor medesimi haverebbono accordato et unito tutte le

forze insieme. In oltre io haveva ordinato ch'ad ogni tre o quattro voltate d'argano s'havessero da fermare: perché, con questo ordine toccando le corde, e trovandone qualch'una troppo tirata, si dovesse allentare; ... e tutti questi ordini per lunga esperienza fatta non m'erano nuovi, e rimediai con essi a tutti quei pericoli che fussero potuti intervenire, et sicuro che non si poteva mai in modo alcuno rompere corda alcuna.

Bisognando dunque fabricare un castello di legname, e far piazza per piantar li sudetti quaranta argani (sendo il luogo alquanto stretto), fu di necessità gettare in terra alcune case, e spianare una piazza...

L'armatura per l'erezione dell'obelisco. Per formare il prenominato castello si piantorno otto colonne, o antenne che le vogliamo nominare, quattro da una banda, e quattro dall'altra della guglia, lontane fra loro palmi cinque [m. 1,08], formate in grossezza di quattro travi per ciascuna, grossi l'uno palmi due e un quarto [49 centimetri], di modo ch'ogni colonna veniva ad essere grossa per diametro palmi quattro e mezzo [quasi 1 metro], e in circonferenza palmi diciotto. Questi travi erano collegati insieme per maggior fermezza in questo modo, ch'un sempre era piú corto dell'altro acciò che le congiunture non si affrontassero insieme; et i medesimi travi erano forati in molti luoghi per tutte le faccie passando da un canto all'altro, dentro a' quali fori s'erano messe chiavarde, che (passandoli ambe due, e poi fermate con zepparelle di ferro dall'altro capo, dove uscivano fuori) tenevano detti travi congiunti e uniti insieme strettamente senza alcun chiodo, e questo per poter piú presto fare e disfare detto castello senza guastar nissuna trave... Intorno intorno a queste otto colonne o antenne, erano quaranta otto puntelli;... e questo castello cosí fatto e fermato era di tanta e tal fortezza che, se gli fusse stato posto adosso ogni gran fabbrica, non haverebbe ceduto altrimenti, come se fusse stato un masso di qualche gran sasso, o muro massiccio ivi fabbricato; e di piú alla cima s'erano poste otto ventole tirate con traglie armate a' quattro capi con canapi grossi per piú sicurezza; sopra l'incavallature erano messi cinque travoni longhi l'uno palmi trenta [m. 6,51], e grossi per ogni faccia piú di palmi tre [65 centimetri], alli quali nel vano fra una incavallatura e l'altra erano attaccate le quaranta traglie, che rispondevano alli quaranta argani...

Di poi si coperse tutta la guglia di stuore doppie, acciò non venisse segnata, e sopra dette stuore era coperta di tavoloni grossi un quarto di palmo [54] millimetri, sopra quali erano verghe di ferro lunghe mezzo palmo [108 millimetri], grosse un quarto di palmo, e ve n'erano

tre per faccia, quali abbracciavano il piede di sotto della guglia tra i gnoccoli di metallo, e venivano su per il dritto da tutte quattro le faccie della pietra con i loro nodi a modo di maschietti per congiungere l'una sopra l'altra, e dette verghe erano cinte strette a torno da nove cerchi del medesimo ferro... Il ferro dell'imbragatura pesava libre quaranta mila [13.333 chilogrammi], e fra tavoloni, traglie, e canapi altre libre quaranta mila in circa, di modo che la guglia imbragata di queste maniere veniva a pesare un milione e quaranta tre mila e cinquecento trenta sette libre [348.000 chilogrammi].

Nel medesimo tempo si spianava una piazza intorno a detta guglia, e di mano in mano s'andavano piantando gli argani;... e s'investirno tutte le traglie di mano in mano accomodando i capi delle corde al loro argano destinato; e perché i deputati alla cura del castello potessero in un attimo conoscere quali argani fossero restati o troppo lenti, o troppo tirati a mossa per mossa, feci segnare gli argani per numero ordinatamente, e similmente ancora le polee, che rispondevano ciascuna al suo argano, e alle lor traglie particolari, di modo ch'ad ogni bisogno dalla cima del castello si poteva dare aviso quale argano era necessario allentarsi o tirarsi, di maniera che i capi mastri deputati alla cura ciascheduno del particolare loro argano potevano in un momento rispondere per ordine et eseguire quanto loro era imposto particolarmente, senza una minima confusione... Segnati che furono gli argani, et accomodate tutte le corde, si cominciò ad argano per argano a tirarli con tre e quattro cavalli, per accordare e unire le loro forze rivedendoli tre o quattro volte ad uno ad uno, sino che fossero ugualmente tirati, et a questo segno si fermarono alli vint'otto d'aprile 1586.[8] E perché il popolo infinito concorreva a vedere cosí memorabile impresa, per ovviare a i disordini che potesse causare la moltitudine delle genti s'erano sbarrate le strade ch'arivano sopra detta piazza, e si mandò un bando, ch'il giorno determinato ad alzar la guglia nissuno potesse entrar dentro a i ripari, salvo che gli operaij; a chi havesse sforzato li cancelli vi era pena la vita; di piú, che nissuno impedisse in qual si voglia modo gli operaij, e che nissuno parlasse, sputasse o facesse strepito di sorte alcuna, sotto gravi pene, acciò non fussero impediti li comandamenti ordinati da me a ministri; e per far subito esecuzione di detto bando il bargello con la famiglia tutta entrò dentro il serraglio, talché, sí per la novità dell'opere, sí per le pene del bando, in tanta quantità di popolo che concorse fu usato grandissimo silentio...

Alli trenta del medesimo mese di aprile, il mercoledí, a due ore inanzi giorno furono dette due messe dello Spirito Santo: acciò che

sí come questa segnalata impresa si faceva a gloria di Nostro Signore Dio et essaltatione della Santissima Croce, cosí esso favorisse la buona intentione dandogli prospero fine, e perché maggiormente Sua Maestà havesse ad esaudire le preghiere di tutti. La mattina inanzi, sendosi già di prima d'ordine mio confessati, si comunicorno tutti gli offitiali, lavoranti, capi mastri e carrattieri che dovevano lavorare o intervenire a cosí gran fatto, riconoscendo Iddio per principale aiutore e fautore in gloria del quale, come s'è detto di sopra, si stendeva l'intenzione di Nostro Signore Sisto Quinto, il qual fine et intentione da me poco dopo in essortatione loro fu notificato la medesima mattina, e il giorno inanzi Nostro Signore m'haveva dato la sua benedittione, commettendomi ciò ch'io avessi da fare. Però comunìcati tutti, e fatte le convenienti orationi, avanti ch'apparisse il giorno usciti di Chiesa s'entrò nel serraglio, e tutti gli operaij furno deputati et accomodati a luoghi loro assegnando ad ogni argano due capimastri, quali si prendessero cura et usassero diligenza di farlo lavorare secondo l'ordine, il quale era, ch'ogni volta che si fusse sentita sonar la tromba da una trombetta ch'io haveva fatto venire a posta, e stava in luogo rilevato visto da tutti, ciascheduno dovesse far voltare il suo argano, havendo buon occhio ch'il tutto si eseguisse diligentemente, e che quando havessero sentito il suono d'una campana, la quale io haveva fatto accomodare alla cima del castello, subito s'havessero da fermar tutti. Dietro al cancello da un capo della piazza stava il capo de' carrattieri con venti cavalli grossi governati da vent'huomini, quali io haveva fatto venire per poter mutare e rinfrescare secondo il bisogno. In oltre haveva distribuito per la piazza otto o dieci valent'uomini, quali andassero rivedendo da tutte le parti mentre si lavorava, acciò non intervenisse disordine alcuno. Di piú haveva ordinato una compagnia di vent'huomini, che si pigliassero cura di portare inanzi e adietro le monitioni necessarie di corde, traglie, girelle, et altro secondo che fusse bisognato o per rottura o per altri rispetti; né questi havevano d'avere altra cura, e s'erano posti da banda in luogo alto avanti la porta della casa delle monitioni, dove ad ogni minimo cenno o comandamento dovessero obedire a quanto veniva commesso loro; e questo fu fatto acciò che nissuno de' deputati alla cura degli argani havesse d'abbandonare il luogo suo per vietare ogni confusione che potesse accadere; e cosí s'era ordinato a tutti, e ad ogn'argano io aveva posto huomini e cavalli acciò che detti huomini havessero da governare con piú ragione l'argano conforme a' comandamenti de' capimastri deputati, che non haverebbero fatto se non fussero stati solamente cavalli, quali talvolta non si fermano o muovono cosí

presto come si vorrebbe. Di piú s'erano posti sotto il castello dodici falegnami, quali havessero cura di batter sotto la guglia continuamente zeppe di legno e di ferro quivi preparate a posta; il che serviva a due effetti: l'uno per aiutare ad alzarla, sapendo ognuno quanta forza hanno le zeppe, l'altro à sostentarla, acciò che mai stesse la guglia in aria sopra le corde; e questi falegnami havevano tutti in testa una celata di ferro per difendersi, se a sorte fosse cascato dal castello qualche zeppa di legno, o altro. Alla cura e guardia del castello disegnai trent'huomini, acciò che stando sopra quello ne prendessero cura, e insieme delle traglie, e legature, e ne dessero aviso secondo il bisogno. Alle lieve di ponente, ch'erano tre, posi trentacinque huomini a governarle; a quelle dinanzi, ch'erano due, ne posi diciotto con un arganetto piccolo da huomini...

Detto un Pater Noster e una Ave Maria da tutti, diedi il cenno al trombetta, e sentitosi il suono fu dato principio con le sudette cinque lieve, quaranta argani, novecento e sette huomini, e settanta cinque cavalli. In questo primo moto parve che tremasse la terra, et il castello fece un grande strepito stringendosi per il peso tutti i legnami insieme, e la guglia, che pendeva due palmi [44 centimetri] verso il coro di San Pietro, dove s'offitia al presente, ch'è verso Tramontana (il che si conobbe nel piombarla), si drizzò a piombo...

Si seguitò inanzi: e cosí in dodici mosse s'alzò palmi due e tre quarti [60 centimetri], tanto che bastava per mettervi sotto lo strascino e levare i gnoccoli di metallo, e fu fermata a questa altezza sotto li quattro angoli con gagliardissime mozzature e zeppe di legno e di ferro, e tutto fu finito a hore vintidue del medesimo giorno, e dato il segno a castello [Sant'Angelo] con alcuni mortari; si sparorno tutte l'artiglierie con grandissimo rimbombo in segno d'allegrezza, e prima, acciò nissuno si partisse dai suoi luoghi, s'era portato il magnare in su l'hora del pranzo a ciascuno argano nelle sue canestre per ordine...

Come di sopra dissi, mentre la guglia s'andava alzando non mancorno mai molti falegnami, che stavano dentro al castello intorno al piede della guglia, di battere sotto lei continuamente con mazzi di ferro grossissimi molte zeppe di legno e di ferro di già preparate, ch'oltre l'aiuto che davano in alzarla, non si perdeva mai niente di quello che s'era guadagnato in sollevarla, e l'assicurava, che mai non stava in aria sopra le corde, ma veniva a riposare quasi sempre, come sul proprio sodo suo piedestallo... Di poi si attese a cavare i dadi, o gnoccoli, come li vogliamo nominare, due de' quali erano posti sopra la superficie del piedestallo, e uno ne fu portato subito davanti a Sua San-

tità, che ne mostrò grand'allegrezza...

Hora mentre che si cavavano detti ossi, fu fatto il letto, e messo lo strascino, sopra curli; il quale strascino s'era fatto piú stretto che non era il piede della guglia, acciò potesse entrarvi sotto nel vano restato fra un angolo e l'altro...

Restava il calarla a basso, impresa piú difficile e pericolosa della prima per la grandezza del movimento, e per la longhezza della pietra; però a questo effetto si mutorno tutte le traglie e canapi, attaccandole in varij luoghi da tre bande solamente, lasciando libera la faccia della guglia volta verso levante, la quale calando haveva da posare sopra lo strascino...

A preparare tutte queste cose si consumorno otto giorni di tempo, a tale ch'il mercoledí, che fu alli 7 di maggio 1585, la mattina a buon'hora fu in ordine tutto l'apparecchio. S'erano attaccate al piede della guglia quattro para di traglie, che rispondevano a quattro argani piantati alla banda di ponente, dietro la sagrestia, e cosí a buon'hora li quattro argani suddetti cominciarono a voltare, e tutti gli altri, ch'erano fermati, nel medesimo tempo andavano allentando le funi...

E quando fu alla metà dello scendere, perché il peso veniva a correr la maggior parte sopra il piede cominciò da se stessa a sdrucciolare sopra li curli, e non faceva bisogno piú di tirarla, anzi fu necessario par frenar questo moto, ch'era troppo gagliardo, armare una traglia e attaccarla al piede d'essa guglia, e con quella governarla a beneplacito del conduttore, a tale ch'alle vinti due hore fu spianata sopra lo strascino, ch'ella medesima s'era tirato sotto nell'abbassarsi sanissima senza offesa di nissuna persona. Il che fu inteso con grandissimo contento da Nostro Signore e in universale tutto il popolo ne sentí infinito giubilo, et in segno l'architetto fu accompagnato da tamburi, e trombe a casa sua...

Dovendosi condur la guglia da questo luogo sino su la piazza di San Pietro per distanza di canne cento quindici, et ivi drizzarla, si livellò la piazza, e si trovò esser piú bassa del luogo donde si partiva da quaranta palmi [m. 8,68] circa, tre palmi piú alto del piedestallo; però si fece un argine tirato in piano da detto luogo fino alla piazza, pigliandosi la terra dietro alla fabrica di San Pietro nel monte Vaticano, e si fece largo nel piede palmi cento [m. 21,7], e alto palmi trenta sette [m. 8,03], e largo in cima palmi cinquanta [m. 10,85], e s'haveva allargar di poi intorno al castello palmi cento vinti cinque [m. 27,12] al fondo, e palmi novanta cinque [m. 20,61] alla cima, e si riempí in molti luoghi di travi perché non s'aprisse, e s'armò da ambidue li fianchi con

altri travi, piane, e puntelli, acciò che non cedesse al peso in parte alcuna...

E mentre che le sopradette cose si facevano, su li fondamenti che s'erano già fatti su la piazza, e ch'havevano da sostenere la guglia, fu posto un piano di pietre di travertino lavorato;... nel centro... fu accomodato... il zoccolo di marmo bianco sprangato...

Erezione e sistemazione dell'obelisco (tav. XVII). Alli dieci di settembre 1586 in giorno di mercoledí, essendo in punto ogni cosa, la mattina avanti giorno si dissero due messe dello Spirito Santo nella chiesa posta dentro il Palazzo del Priorato;... e ogn'uno ch'haveva da lavorare si communicò il giorno innanzi, come si fece nella prima alzata, e fatta oratione al Nostro Signore Iddio che ne concedesse prospero successo a gloria sua, si distribuí ciascuno a suo luogo, et allo spuntar dell'alba furono tutti in ordine, e si cominciò con quaranta argani, cento quaranta cavalli, e ottocento huomini con i medesimi segni della tromba e della campanella per lavorare e per fermarsi, e mentre la punta della guglia s'andava alzando, li quattro argani posti all'incontro sempre mai tiravano il piede inanzi, di modo che le corde che tiravano la guglia insú lavoravano a piombo;... anzi che mentre la punta si sollevava piú da terra, sempre il peso sminuiva correndo sul piede che di mano in mano se le tirava sotto;... e quando fu alzata a mezzo si fermò puntellandola, finché tutti i lavoranti e gli altri ch'aiutavano all'impresa desinorno. Dopo magnare tornato ogn'uno al lavoro con molta diligenza si seguitava inanzi... Fu drizzata in cinquanta due mosse e fu bellissimo spettacolo per molti rispetti, e v'era concorso infinito popolo, e furno assai che per non perdere il luogo dove stavano a vedere stettero fino alla sera digiuni, alcuni altri fecero i palchi per le persone che concorsero, e guadagnorno assai denari. Nel tramontar del sole la guglia fu dritta sopra il piedestallo, ma sotto lei stava lo strascinó ch'ella medesima s'era tirato sotto mentre s'alzava. Subito se ne diede segno con alcuni mortari a Castello [Sant'Angelo], il quale scaricò molti pezzi d'artiglieria, e la città si rallegrò assai: concorsero a casa dell'architetto tutti li tamburini e trombetti di Roma sonando con grande aplauso, e mentre il Castello faceva allegrezza, Sua Santità si trovò in banchi, che ritornava a San Pietro da Monte Cavallo per dare il Concistoro publico all'ambasciator di Francia, e ivi fu dato la nuova a Sua Santità, che la guglia era drizzata a salvamento, che le fu molto grata, e ne mostrò grandissima letizia. Sette giorni seguenti si consumorno in tornare a rassettare gli argani, e attaccare le traglie a tutte quattro le faccie della guglia per potere aggiustarla, ... e quel giorno che s'haveva

da levar lo strascino si cominciò prima a stringere gli argani, poi a calcar lieve, di modo che la guglia si venne alquanto a sollevare, e subito da falegnami e molt'altra gente preparata a questo effetto si puntellava da tutte due le bande con zeppe, essendo il piede della guglia piú largo dello strascino. Cosí fermata da ogni banda un poco piú alta di quello, si tirò fuori, e la guglia restò posata sopra le zeppe, e levato lo strascino s'accomodarono gli ossi di bronzo, che l'avevano da sostentare, impiombando quelli, ch'havevano i perni; fatto questo nel medesimo giorno si strinsero di nuovo gli argani, e si calcorno le lieve, e mentre ciò si faceva si battevano via le zeppe ad una ad una e la guglia se n'andava calando a poco a poco, talché la sera medesima si riposò sopra gli assi, ma per essere tardi non si potette aggiustare. Il giorno seguente s'aggiustò, e si mise a piombo... Poi s'attese a sgombrare, e a disarmar la guglia e le traglie, e restò nuda alli vintisette del medesimo mese, nel qual giorno Nostro Signore ordinò che si facesse una processione per consacrarvi sopra la croce dorata, e per purgare e benedir la guglia... [111]

Fra le imprese tecniche del XVII secolo particolarmente degne di nota ricordiamo: in Olanda ed in Inghilterra, la costruzione di grandi navi di nuovo tipo; nella Francia di Luigi XIV, oltre alla costruzione di grandiose fortificazioni, la realizzazione del grande Canal du Midi, che, con una lunghezza di 240 km., congiungeva due mari, e che Voltaire lodò come l'opera tecnica di maggior mole compiuta nell'epoca di Re Sole, ed infine la gigantesca macchina di Marly per il sollevamento dell'acqua, costruita per addurre l'acqua alle fontane dei giardini di Versailles.

La macchina di Marly (tav. XVIII), costruita con enormi spese nel periodo fra il 1681 e il 1685, è un'opera che rappresenta tipicamente l'illimitato potere di un regnante dell'età barocca. Quattordici grandi ruote idrauliche, del diametro di 12 metri, azionate dall'acqua della Senna, mettevano in moto 221 pompe, che sollevavano l'acqua per salti successivi attraverso tubazioni di ghisa, per un'altezza complessiva di 162 metri. Al limite inferiore funzionavano 64 pompe che spingevano l'acqua in un serbatoio intermedio posto 48,5 metri piú in alto; di qui, l'acqua veniva sollevata di altri 56,5 metri mediante 79 pompe, fino ad un secondo serbatoio; qui altre 78 pompe facevano salire l'acqua ancora di 57 metri. Le pompe installate presso i due serbatoi intermedi venivano azionate dalle stesse ruote idrauliche immerse nella Senna, attraverso ben congegnati giochi di aste (cioè attraverso quel sistema di trasmissione del moto che già abbiamo incontrato nelle miniere tedesche del XVI secolo (cfr. p. 159). La potenza del colossale impianto, le cui spese di esercizio erano straordinariamente elevate, ammontava a soli 80 cavalli, misurati in base alla quantità d'acqua effettiva-

mente sollevata; ciò corrisponde alla potenza del motore di un moderno autocarro da 3,5 tonnellate. Nella sua *Architecture Hydraulique*, del 1739, Belidor ce ne dà questa descrizione:

Descrizione della macchina di Marly. Sembra che mai sia stata costruita nel mondo una macchina, che abbia avuto tanta risonanza come la macchina di Marly. A buon diritto può essa porsi nel numero di quelle opere, che erano riservate alla magnificenza di Luigi il Grande; ché in realtà solo a questo monarca poteva spettare di costringere un tal fiume qual è la Senna ad abbandonare il suo corso naturale per salire su un'altura sí elevata, come quella sulla quale essa ora scorre. Maravigliose imprese han fatto compiere i poeti ai loro eroi con l'aiuto degli Dei; questo grande Re ha trovato invece tutto quanto gli era necessario per realizzare i suoi grandiosi intendimenti, escludendo ogni invenzione poetica, parte nel suo tesoro, parte nell'abilità di coloro che con l'attività manuale cercarono di contribuire all'accrescimento della sua gloria. Il luogo da lui stesso scelto, nel bosco presso Marly, per farvi costruire un castello, può essere considerato uno dei piú belli del mondo. Un sito meraviglioso ed un paesaggio incantevole forniva, da parte della natura, tutto quanto poteva desiderarsi, ma non l'acqua. Ma come si poteva fare a meno di questa in un luogo siffatto, che si voleva riccamente adornare di tutto quanto la fantasia può immaginare sia esistito in quei luoghi incantevoli che i romani con tanta magnificenza ci descrissero? Questo ostacolo sarebbe bastato senz'altro a distogliere dal suo disegno un principe che non fosse stato cosí potente; ma egli volle dimostrare che anche le piú gigantesche imprese potevano essere da lui condotte a buon fine. Egli chiamò dunque a sé tutti coloro che, in Francia come nei paesi stranieri, erano annoverati fra le persone piú abili, ed essi, attratti dai particolari benefici con i quali egli premiava i buoni meriti, insieme lottarono per la sua gloria.

Poiché allora bastava che uno fosse dotato o abile anche in pòche cose, per essere subito notato dai suoi Ministri, cosí si trovò un tale, a nome Rennequin, della regione di Liegi, uomo di eccellente inclinazione naturale per simili macchine, che non mancava dell'ardimento necessario per un'impresa cosí importante come quella di portare l'acqua a Marly ed a Versailles in tale quantità, come se essa sgorgasse da sorgenti naturali. La macchina che egli costruí a tale scopo incominciò a funzionare nel 1685. A quanto si dice, il suo costo deve aver superato gli otto milioni...

Questa macchina è posta fra Marly ed un villaggio su un braccio

della Senna. Qui il fiume è attraversato in parte dalla macchina stessa, in parte da una costruzione o diga, che trattiene le acque. Affinché ciò non impedisca la navigazione, si è tuttavia scavato, due miglia a monte di Marly, un canale attraverso il quale le navi possono trovare il passaggio. Tentra o trentacinque *toise* prima della macchina, fu posta una griglia di ferro, per evitare che i ghiacci galleggianti ed i tronchi d'albero che il fiume porta seco potessero danneggiare la macchina. Per conservare ancor meglio i panconi, disposti in ordine sopra la macchina, si costruí davanti ad essi una seconda griglia opportuna, o cancello di tavole, che trattenesse tutto quanto riusciva a passare attraverso la griglia anzidetta.

La macchina è formata da 14 ruote idrauliche, che tutte convergono allo scopo di muovere alcune pompe che costringono l'acqua a salire fino a una torre posta sulla sommità del colle; qui l'acqua si raccoglie ed esce quindi ancora per versarsi nei serbatoi, attraverso un condotto in muratura poggiante su archi, e per riempirli... [112]

Il meccanico Jakob Leupold di Lipsia si addentrò in alcuni dettagli tecnici della macchina nel suo *Theatrum machinarum hydraulicarum*, del 1725.

Anzitutto è da sapersi, che tutte le ruote hanno uno stesso meccanismo, e ciò che fa una, anche le altre fanno, e chi comprende struttura ed effetto dell'una, saprà anche le altre.

L'intera macchina adunque non è che un complesso di compressione, poiché ben chiaro fu all'inventore, che l'acqua non si può d'un solo tratto portare a tanta altezza in un cilindro o in un tubo, e che né il cilindro, né la valvola, né il tubo potrebbero a tanto resistere (siccome nelle nostre miniere, nelle quali non solleviamo d'un colpo l'acqua in un tubo o cilindro, ma lo facciamo per salti intermedi, che dall'uno all'altro la sollevino); epperò porta ogni ruota due manovelle o perni curvi, di cui una su un fianco aziona sei aste di pompe in sei cilindri per la compressione, e spinge l'acqua dalla Senna in un serbatoio o torre d'acqua disposto a mezza costa del colle, mentre la manovella o perno curvo dall'altra parte muove un complesso di trasmissione ad aste fino alla torre anzidetta e solleva l'acqua mediante pompe; da questa torre essa di nuovo scorre fino all'altezza desiderata...

Ma la piú rimarchevole cosa da apprendere da questa macchina si è, che l'architetto prese cilindri grossi appena 4 pollici, mentre fece il movimento dello stantuffo loro di 4 piedi, e perciò impiegò anche 6

cilindri per una sola ruota. Qui uno potrebbe pensare: "Se egli li avesse almeno fatti grossi 6 pollici, gli sarebbero bastati forse soltanto 3 pezzi, e avrebbe potuto risparmiare lavoro e spese..." Ma se di ciò si convince: di quanto in alto debba venir spinta l'acqua da un tale cilindro — allora egli facilmente si farà ragione della cosa e comprenderà, che ciò fu fatto per buoni motivi, e di necessità: ché quando l'acqua preme da 200 piedi sopra un tale stantuffo, se sia largo in diametro soltanto 4 pollici di Lipsia, (quelli di Parigi essendo molto maggiori) si ha un carico di 4 quintali, che su tutti i sei cilindri comporta 24 quintali. Se ora il cilindro fosse solo 4 pollici piú largo, e cioè 8 pollici, già ne conseguirebbe un carico di 16 quintali, e non si dica poi se addirittura si volesse fare un cilindro di 12 pollici, che non sarebbe poi ancora dei piú grandi, poiché se ne trovan bene di 13 e anche di 16 pollici.

Un'altra cosa pure è da notarsi, che egli fece i tubi di aspirazione piuttosto grandi in riguardo ai cilindri; e perché l'acqua non abbia a ricadere indietro, ne fece curva l'estremità inferiore, ... e si sa che ciò serve bene quanto una valvola. [113]

Questo gigantesco, costosissimo impianto di Marly, e la relativa modestia della sua potenza, ci mostrano chiaramente le limitazioni dell'antica tecnica nella costruzione di macchine. La ricerca di una macchina, che potesse sviluppare maggior potenza e fosse al tempo stesso piú sicura delle ruote a vento e ad acqua tradizionali, doveva infatti diventare il problema piú interessante della tecnica di quell'epoca.

La ricerca di una nuova macchina motrice

Il problema del sollevamento dell'acqua, soprattutto per l'eliminazione dagli scavi delle acque d'infiltrazione, tenne impegnati, a partire dalla fine del XVII secolo, molti grandi ingegni, fra i quali basterà ricordare Huygens, Leibniz, Papin, Savery e Newcomen; man mano infatti che la profondità dello scavo andava crescendo, con le macchine usuali non si riusciva piú ad eliminare le acque d'infiltrazione.

Leibniz, che non fu solo un filosofo ed un matematico, ma operò pure nel campo tecnico e scientifico, cercò nel 1681, nello Harz dove le forze idrauliche non erano sufficienti, di sollevare l'acqua di scavo con l'aiuto di una macchina a vento da lui costruita. Ce ne dà una descrizione Calvör.

Quando si scava un pozzo, subito in esso si raccoglie l'acqua, che sotterra si ritrova ovunque, e se si vuole continuare a lavorare nel pozzo bisogna eliminarla, ed a ciò non solo abbisognano macchine, ed acqua sufficiente per azionarle, ma anche profonde gallerie, onde convogliar via l'acqua sollevata dalle macchine stesse... Alcuni meccanici si sono ripromessi di mantenere asciutti simili scavi mediante macchine che per funzionare non abbisognino di acqua, o per lo meno ne abbisognino di pochissima, e non di tanta quanta è quella onde abbisognano le macchine qui in uso; ma a nessuno di quelli ai quali è stato concesso di far delle prove è riuscito di realizzare alcunché di utilizzabile, ed anzi per la maggior parte di quelle proposte per diversi motivi non si sono neppure effettuate prove...

Nella primavera dell'anno 1678 il consigliere di Corte e di miniere Peter Harzingk, beneficiario pure delle decime di Clausthal, propose di sollevar l'acqua dai pozzi mediante macchine a vento, allo scopo di risparmiare l'acqua durante i periodi in cui soffiava il vento, mantenendo con tale alternanza continuamente in moto le macchine. Egli mostrò un modello approntato per questo fine... Cosí nell'agosto dell'an-

no 1679 fu decisa dal duca Giovanni Federico la costruzione di una simile macchina a vento, e subito fu comunicato all'ufficio delle miniere che ne era inventore il consigliere di corte Gottfried Wilhelm Leibniz, il quale si sarebbe recato alla fine nel Clausthal. Da ciò si deve quindi dedurre che il modello era stato anonimamente inviato da Hannover al consigliere di Corte e delle miniere Harzingk, senza che neppure lui sapesse da chi, allo scopo di sentire il primo parere dell'ufficio delle miniere in merito.

Il famoso Leibniz aveva espresso il parere, ad Hannover, che si potesse superare la mancanza di acque superficiali per il sollevamento delle acque profonde, utilizzando il vento in unione all'acqua, in modo da poter cosí estrarre dalla miniera una quantità di minerale assai maggiore, con notevolissimo vantaggio. A questo scopo egli era pronto a costruire a sue spese una macchina a vento in un luogo e sopra un pozzo che venissero scelti allo scopo, e che fossero particolarmente adatti a dimostrare l'utilità della sua invenzione, e di condurne la prova per un anno, cosí che si potesse dedurne se essa fosse o meno da applicare con vantaggio per l'attività della miniera anche ad altri pozzi (fossero essi nuovi e profondi o vecchi e poco profondi)...

Il consigliere di Corte procedette quindi a far costruire presso la Catharina questa macchina sperimentale, che sollevasse l'acqua direttamente dal pozzo...

Quando i carpentieri del consigliere, dei quali era capo un mugnaio, Hans Linse, fecero avviare per la prima volta la macchina ormai pronta, nel 1681 a causa di un forte vento le ventole che erano state disposte nelle pale perché si aprissero nel caso di vento molto forte, furono abbattute; e per salvare le pale le si dovette frenare con catene; e da ciò e da altre cose si dedusse, che tali artifici non andavano su un certo modello, ma che l'inventore cercava assiduamente di ottenere, attraverso ad ogni sorta di modifiche, ciò in cui sperava e che aveva promesso di fare. Dopo che si furon riparati i difetti, questa macchina a vento diede buona prova a S. Martino nel 1682, poiché funzionò per un'ora e sollevò 11 misure piene. A questo punto si ruppe una traversa, alla quale erano assicurate le braccia, poiché allora non c'erano ancora i perni ricurvi...

Quando questa macchina, con l'aggiunta di un perno ricurvo, fa di nuovo rimessa in efficienza, essa svolse ancora il suo compito. Tuttavia un uragano nel 1683 ne strappò completamente il tetto, spaccando e distruggendo l'albero che su quello poggiava, e tutte le pale. Dopo di che tutto fu nuovamente rimesso a posto e la macchina poté svol-

IOÁNES
STRATENSÍS
FLANDRVS
1570

Jan Street, detto Giovanni Stradano, *L'alchimista*. XVI secolo.

gere il suo lavoro ancora nei periodi di vento...

Da ciò si vede, che la macchina in buone condizioni di vento riusciva a compiere qualcosa, ed anche sollevò in una sola volta per due o tre giorni continuati 14 misure fino al corso d'acqua della Casa di Israele, ma non sino alle gallerie. In caso di vento debole essa si fermava e in caso di vento forte spesso una pala o la biella del meccanismo o qualcos'altro della grande ruota a pettine si rompeva...

Si era cosí riusciti principalmente a dimostrare che una macchina a vento può effettivamente sollevare l'acqua, se pure non in cosí grande quantità come una macchina ad acqua; e che però non si era ancora in grado di costruirla cosí che fosse robusta tanto da non presentare tali mende nel sollevare grandi carichi; alla qual cosa può anche aver contribuito il fatto, che questa costruzione non era stata eseguita avendo considerazione della sua applicazione alle miniere, e che i mastri non avevano disposto le varie parti nell'ordine e nelle proporzioni giuste, e che il signor consigliere si era spesso lagnato del cattivo lavoro svolto dalle testarde maestranze, nonché del fatto che sempre la gente entrava a forza nelle parti superiori della macchina, portavano via quanto si era predisposto, facevano girare le pale e arrecavano danni...

A questo punto si deve altamente essere meravigliati che questo grande ingegno non si fosse ancora stancato di queste macchine, che gli costavano tanto denaro, tempo, fatiche, viaggi, lettere e contese, ma che malgrado tante difficoltà proponesse la costruzione di sempre nuove macchine, come già in parte ho detto... Nelle sue profonde concezioni egli tuttavia ignorava, almeno in principio, le miniere dello Harz, le caratteristiche dei pozzi, delle macchine, e di cosa esse debbano vincere, e di quali difficoltà vi fossero da superare, e doveva quindi fidarsi di altre persone, che erano spesso contraddittorie e poco fedeli nel loro lavoro, mentre egli non poteva essere sempre presente nello Harz presso il lavoro a rendersi conto delle difficoltà che si presentavano. [114]

Leibniz descrisse nel modo seguente una macchina a vento con trasformazione variabile della velocità mediante ingranaggio conico:

Sollevamento dell'acqua mediante la forza del vento. Le macchine a vento per tirar su l'acqua nelle miniere dai pozzi profondi hanno questa difficoltà, che esse con forte vento troppo in fretta fan girare le aste, per cui facilmente qualcosa si può rompere ed in caso di vento debole non hanno forza bastante, e dato che si usano solo delle lunghe aste con la biella applicata una volta piú vicino e una volta piú lon-

tanto dal centro o dal rullo oscillante, cosicché la corsa viene una volta diminuita e una volta aumentata, lo stantuffo nei cilindri delle pompe si muove troppo lentamente e si perde nuovamente acqua.

Per evitare questo inconveniente ho inventato questo sistema che secondo la mia opinione è la piú perfetta proposta che sia mai stata fatta (fig. 44).

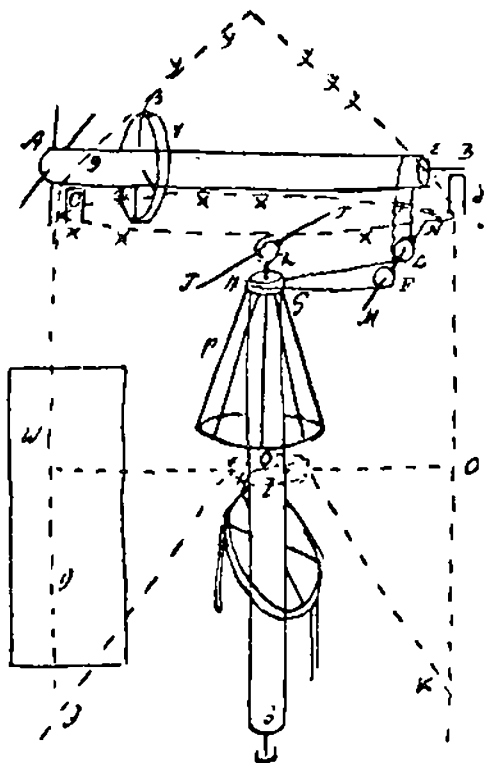



Fig. 44. *Macchina a vento per sollevamento d'acqua da pozzi minerari.* Progetto di Leibniz; anno 1678.

A ali della macchina a vento. Sull'albero corre la fune metallica *EFGHLE*, che va dall'albero *E* sotto il rullo *F*, di qui passa al rocchetto *GH*, e di qui di nuovo al rullo *L* e da questo ritorna a *E*. Il rocchetto è formato da una ruota *Q*, di circa 10 piedi, dalla quale alcune asticciole di legno di faggio convergono insieme verso l'alto su *HG* e sono qui fissate sull'albero verticale. A seconda che si disponga

la catena piú in alto o piú in basso sul rocchetto, come in *P*, l'albero verticale gira piú o meno lentamente, e quindi l'asse *MN* deve essere mobile affinché si possa piú o meno tendere e allentare la catena. Sull'albero verticale *RS* è disposto un collare obliquo o ellisse 1,2, che, girando, alza ed abbassa vicendevolmente due pistoni 1,3 e 2,4. [115]

Gli sforzi di Leibniz per riuscire a mantenere asciutti i pozzi mediante il dispositivo testé descritto restarono, come già sappiamo, senza frutto. Ma in Francia già era stata aperta una strada che doveva presto portare alla realizzazione di una prima rozza macchina, nella quale non agivano piú le forze elementari dei muscoli dell'uomo o degli animali, del vento o dell'acqua che cade, bensí forze di altro genere.

Fin dal 1666 Huygens aveva proposto al ministro Colbert, il fondatore del sistema economico mercantilistico francese, di far svolgere all'Accademia francese alcuni compiti, fra i quali erano pure compresi alcuni esperimenti per utilizzare l'energia della polvere da sparo e quella del vapor d'acqua.

Esecuzione di esperimenti con lo spazio vuoto d'aria da effettuare con l'aiuto della macchina "pompa pneumatica," o di altro, e determinazione del peso dell'aria. Ricerche sulla forza della polvere da sparo, di cui si ponga una piccola quantità in una capsula di ferro o di rame molto spessa. Ricerche sulla forza dell'acqua fatta evaporare con il fuoco nella stessa maniera. Ricerche sulla forza e la velocità del vento e sull'utile che se ne trae per la navigazione a vela e per le macchine. Ricerche sulle forze dell'urto ovvero sulla trasmissione del moto attraverso lo scontrarsi dei corpi, del quale argomento, come credo, per primo ho indicato le vere leggi. [116]

Le prove eseguite sulla base di queste proposte prepararono lo sviluppo di una nuova macchina. Guericke aveva dimostrato già nel 1661 che uno stantuffo che venga spinto dalla pressione dell'aria in un cilindro in cui sia stato fatto il vuoto, può venir impiegato per compiere un lavoro. Il cilindro impiegato da Guericke aveva un diametro di 39 centimetri ed un'altezza di 56 centimetri (tav. XVI a); in esso veniva fatto il vuoto mediante una pompa pneumatica che lo stesso Guericke aveva inventato. Fin dal 1664 Caspar Schott aveva dato notizia al mondo scientifico delle prove effettuate da Guericke con questo stantuffo, che, spinto dalla pressione dell'aria entro un recipiente cilindrico, produceva lavoro.

Huygens cercò nel 1673 di provocare una depressione in un cilindro metallico facendovi esplodere della polvere da sparo; lo stantuffo avrebbe dovuto allora venir spinto nel cilindro dalla pressione atmosferica, com-

piendo un lavoro come nell'esperimento di Guericke. La buona riuscita degli esperimenti condotti con piccole macchine motrici a polvere indusse Huygens a ottimistiche previsioni sul loro impiego, se solo si fossero potute sviluppare nel modo dovuto. Con sicuro senso tecnico, egli pensava anche al possibile azionamento di veicoli, navigli e velivoli:

La forza della polvere da sparo è servita sino ad ora solo per azioni violente, ... e quantunque già da gran tempo si sia desiderato di moderarne la troppa velocità e possanza per utilizzarla ad altri scopi, fino ad oggi nessuno, a quanto so, vi è pervenuto con successo...

Da circa tre mesi mi è venuto in mente ciò che ho da proporre; da quel tempo ho lavorato a tale invenzione per perfezionarla, eseguendo molte ricerche e gran numero d'esperimenti, il cui successo mi ha soddisfatto pienamente, a segno che, fin da quando essi in piccolo furono eseguiti, ho osato concludere che la cosa sarebbe ben riuscita anche in grande, e anzi ancor meglio, per motivi che si conosceranno dopo che sarà stata illustrata la macchina stessa (fig. 45).

La violenta azione della polvere viene con quest'invenzione limitata ad un movimento, che si compie come quello di un grosso peso; ed essa può essere impiegata non solo per tutti gli scopi per i quali si adopera un peso, ma anche nella maggior parte dei casi in cui abbisogna la forza degli uomini e degli animali, di maniera che la si potrebbe usare a sollevar grosse pietre per costruzioni, a erigere obelischi, a portar su l'acqua per le fontane e a far girare mulini per macinare il grano, quando non si ha comodità o spazio sufficiente per adoprare cavalli. E questo motore ha il vantaggio di non comportare spese di mantenimento quando non lo si adopera.

Ci si può ancora servire di essa come di una forza assai rapida, di modo che con questo mezzo si possono costruire macchine in grado di lanciare palle di cannone, grandi lancie e granate con forza forse pari a quella di un cannone o di un mortaio. Inoltre, secondo i miei calcoli preventivi, questa macchina risparmia una gran parte della polvere che ora si impiega; ed al contrario delle moderne artiglierie, questa macchina si lascerebbe assai agevolmente trasportare, poiché in questa scoperta la leggerezza si sposa alla potenza.

Quest'ultima particolarità è di grande momento e consente di ritrovare con questo mezzo nuovi generi di veicoli per terra e per acqua.

E per quanto la cosa possa parere assurda, non sembra impossibile di poter trovare un qualche veicolo per muoversi anche nell'aria, poiché nell'arte di volare grande ostacolo è stato finora il non poter co-

struire macchine assai leggere in grado di produrre un moto molto forte. Confesso tuttavia che occorrerà ancora una gran quantità di scienza e di inventiva, per giungere alla meta di una siffatta impresa.

Resta ancora da dire a quanto può salire la forza della polvere con

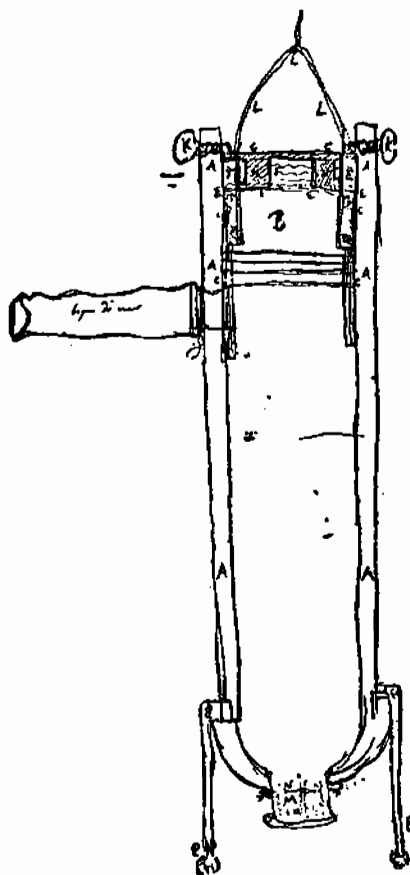



Fig. 45. *Macchina a polvere da sparo.* AA) spessore del cilindro; B) cavità dello stantuffo; sotto: vite contenente la polvere; in alto a sinistra: valvola di scarico. Progetto di Cristoforo Huygens; anno 1673.

questa invenzione. Trovo dal calcolo che si fonda sugli esperimenti da me condotti, che una libbra di polvere è in grado di fornire la forza necessaria per sollevare un peso di 3000 libbre di almeno 30 piedi, dal che si può valutare l'azione di questo nuovo motore, che io ritengo

maggiore di quella che la polvere stessa può sviluppare usandola nei modi comuni... L'invenzione può soprattutto assai bene servire ove occorrano insieme una gran forza e molta leggerezza, come nel volo, che non può piú essere trascurato come impossibile, per quanto sia necessario ancora molto lavoro prima di renderlo una realtà. [117]

Huygens descrive in modo particolarmente efficace il funzionamento della sua macchina in una lettera a suo fratello Lodovico, del 22 settembre 1673.

Nei giorni scorsi ho fatto vedere ai signori dell'Accademia nostra e quindi anche al signor Colbert il disegno di una invenzione, che si è giudicata come assai buona e dalla quale mi aspetterei grandi effetti,

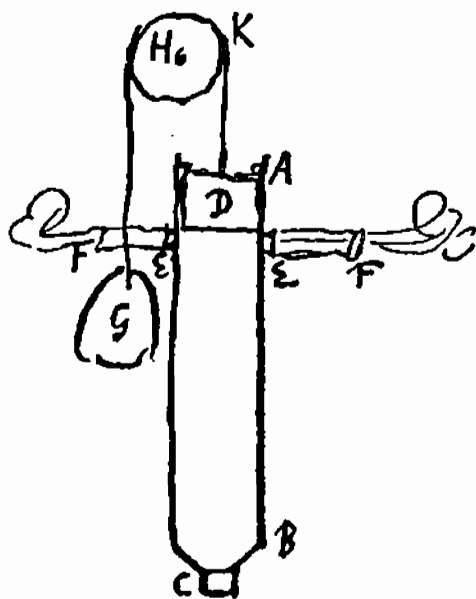



Fig. 46. *Altra macchina a polvere da sparo.* Progetto di Cristoforo Huygens; anno 1673.

se fossi sicuro che essa riesca in grande altrettanto bene come è riuscita in piccolo. Si tratta di una nuova forza mobile da ottenersi per mezzo della polvere da sparo e della pressione dell'aria. Eccone la descrizione (fig. 46).

AB è un tubo, ben levigato internamente e di larghezza uniforme. *D* è uno stantuffo posto in alto nel tubo, che si può muovere dentro di esso, ma che contemporaneamente non può uscir fuori dal tubo, poiché ivi è assicurato un riscontro, che ne lo impedisce. Sotto al tubo è avvitata una piccola capsula, per la perfetta tenuta della quale si è impiegato del cuoio. Nei punti *EE* del tubo sono praticate delle aperture e ad esse sono assicurati dei manicotti *EF* di cuoio bagnato. Nella capsula *C* si pone, prima di fissarla, un po' di polvere da sparo con un pezzetto di miccia. Dopo aver acceso questa ad una estremità, si fissa la capsula. Il fuoco raggiunge allora la polvere, che infiammandosi riempie il tubo e ne caccia l'aria attraverso le valvole *EF*, che subito dopo per la pressione dell'aria esterna si chiudono e vengono premute contro le aperture, che sono munite di griglia perché le valvole di pelle non entrino nel tubo. Restando allora il tubo in tal modo vuoto, o quasi vuoto, d'aria, l'aria esterna comprime con grandissima forza lo stantuffo *D* e lo costringe ad entrare nel tubo, al che esso trascina con sé la corda *DK* e quindi il peso *G*, o qualsiasi altra cosa che vi sia attaccata.

La grandezza di questa forza si calcola facilmente conoscendo la pressione esercitata dall'aria su una data superficie. E se il tubo ha un piede di diametro, il peso dell'aria sullo stantuffo è di 1800 libbre, e per altre misure corrisponde alla superficie. Ciò varrebbe solo se il tubo fosse completamente vuoto d'aria; ma di questa resta sempre alcuna parte nel tubo. Se il tubo avesse due pollici e mezzo di diametro e due piedi d'altezza, esso si svuoterebbe completamente dell'aria con una dramma e mezza di polvere, ma la metà dell'aria rimane in effetti sempre dentro di esso, il che ne diminuisce straordinariamente l'effetto. Io credo però che tale difetto derivi in parte dal fatto che le aperture sono troppo piccole per lasciare uscire l'aria, e ciò si dovrà controllare con altri esperimenti. Frattanto, con un tubo del diametro di un piede, che viene liberato dell'aria soltanto a metà, ho potuto mostrare effetti meravigliosi con il sollevare in aria pesi e uomini, tirandoli con la fune *HG*. Se si potesse ben allontanare l'aria, sarebbe tutta un'altra cosa; e poiché il tubo non ha bisogno di esser tanto grosso, poiché contro la pressione dell'aria esterna esso si presenta già curvato, e poiché pertanto lo si potrebbe fare molto leggero, non risulta impossibile il costruire in questo modo una macchina, non oso dire per volare, ma che almeno si sollevi nell'aria, e con essa coloro che vi si affidino. [118]

La possibilità di un nuovo, pacifico impiego della polvere da sparo fece molto rumore. In un articolo anonimo, che si riferisce ad una lettera di Huygens sulla macchina a polvere da sparo,[9] il priore del convento di Zödtenburg magnificava la nuova invenzione, nella quale, con puro spirito calvinistico, egli vedeva un'impresa tecnica realizzata "ad maiorem Dei gloriam et ad hominis bonum."

Ad maiorem Dei gloriam. Profonde riflessioni si offrono ai ricercatori sulla forza motrice della polvere da sparo, e al loro fertile ingegno si presenta la possibilità di trarre la tremenda potenza della polvere ad impieghi piú salutari di quanti se ne siano conosciuti sinora.

Soltanto una mente empia può contestare una cosí infallibile verità: com'è quella che nell'intenzione di Dio soltanto ad impieghi ed usi salutari può essere destinato quanto è creato e quanto con le opere della creazione l'uomo può fare; poiché ogni cosa esiste per il bene degli uomini, solo che tale sia la volontà loro. Invece è fin troppo ben risaputo che lo spirito dell'uomo, corrotto e volto al male, non si sforza in molti casi per trovare una buona utilizzazione delle cose, ma si lascia troppo precipitosamente trascinare a escogitar con astuzia le utilizzazioni peggiori, per cose che secondo l'espressa intenzione del Creatore dovrebbero essere di vantaggio agli uomini, sí da indurli a lodarlo per questo.

Tale pessimo uso ha portato alcuni a considerare lo scopritore della polvere da sparo come uno stregone soggetto a Satana in abito di monaco; non deve tuttavia sembrare impossibile il poter compiere con il suo potente effetto cose diverse dalle esplosioni, dall'annullamento della vita, dagli scoppi e dalla distruzione. Cosí senza dubbio in tempi passati si sarà giudicato per la forza attiva dell'acqua e del vento, prima che la stirpe degli uomini avesse imparato a servirsene per scopi utili, grazie all'impiego prima di semplici ruote e poi di ruote dentate costruite da acuti e diligenti artisti meccanici.

Si dovrebbe pertanto mettere da parte l'idea anzidetta [che l'invenzione della polvere da sparo sia opera diabolica] ed accettare invece: 1) che l'inventore della polvere sia stato, come è stato, un bravo chimico; 2) che le ingegnose realizzazioni della chimica non sono in odio né a Dio né alla natura, e neppure sono indirizzate contro la volontà del Signore: esse mutano infatti veleni di istantaneo effetto in benefici farmaci; 3) che esiste la possibilità di costringere con qualche mezzo su una strada ben preordinata l'anzidetta forza motrice [della polvere da sparo], per quanto rapida e potente possa essere, cosí che sia in

grado, a seconda dell'apparecchiatura impiegata, di azionare un mulino di tipo usuale o di compiere altri lavori; e questa mèta può raggiungersi mescolando ad intime implorazioni per l'assistenza di Dio, assidui sforzi piromeccanici, ed occupandosi incessantemente di questo lavoro con i pensieri e con le mani, e soprattutto tenendo davanti agli occhi la dimostrazione innanzi portata [dell'uso benefico della polvere da sparo] e quindi la lode per l'onnipotente Creatore, e non l'utilità che immediatamente se ne può trarre e che la Provvidenza divina può a suo giudizio riservare a questo o al futuro secolo.

Già piú di due anni e sei mesi sono trascorsi da quando a un certo numero di ricercatori si è posto pubblicamente il problema della polvere da sparo, e precisamente che essa possa e debba servire a scopi diversi da quelli avuti finora. E dunque da ciò dovevano i ricercatori venir indotti alle piú audaci prove, liberandosi dalle assidue ricerche dei cattivi usi della violenta azione della polvere ed entrando in una luce piú splendente. E parimenti dovevano rivolgere una parte dei loro sforzi a scoprirne un nuovo motivo, che sin dall'apparire della scoperta [della polvere da sparo] esisteva, nascosto, poiché tutti coloro che fino ai giorni nostri si sono occupati del suo impiego, stavano sotto il bando di quella mostruosa sentenza, che la polvere potesse solo servire ad offrire agli occhi ed agli orecchi con i suoi lampi e le sue scintille un vano e dispendioso spettacolo, o, peggio, a ferire, ad uccidere, a far esplodere, a far scoppiare e distruggere: in una parola a sollevare dai suoi cardini l'intero mondo. Il presagio era assai vicino, solo che i nostri ricercatori non avessero, sotto l'impressione di quella sentenza, nulla o troppo poco meditato su ciò [su un utile impiego della polvere da sparo], tanto piú che su questa strada non li attraeva alcuna vista di facili e notevoli vantaggi. Uno solo si è trovato che si sia liberato del pregiudizio sopra ricordato a favore di un utile modo di procedere da lui presagito... ed ha dato il suo riconoscimento all'esperimento, in una lettera francese del 24 maggio 1686:

"Ho ricevuto il problema da Voi comunicato per un nuovo impiego della polvere da sparo. A mio avviso si deve molto sperare di raggiungere lo scopo. Sette o otto anni fa ho presentato al signor Colbert una macchina che avevo fatto costruire con questa intenzione e che è elencata negli atti della nostra Accademia. Essa agiva nel modo seguente: una piccola quantità di polvere, circa un ditale, era in grado di alzare di cinque piedi circa 1600 libbre, e precisamente non di colpo come di solito avviene, ma con una forza moderata e costante. Quattro o cinque servi, che il signor Colbert aveva posto alla corda fissata alla

macchina, erano stati alzati con facilità in alto. Esisteva tuttavia una difficoltà nel far ripetere durevolmente questa prestazione alla macchina."

L'autore di questa lettera rende note due invenzioni assai singolari e addirittura senza confronti: 1) una o due dramme di polvere di sparo, quanta ne contiene un ditale, sollevando in alto per cinque piedi un peso di 1600 libbre; e inoltre, 2) senza la consueta violenza, ma con una forza moderata e costante. La prima di queste scoperte muove all'ammirazione, ma corrisponde ai principî finora accettati. L'effetto della polvere poteva naturalmente essere ancora aumentato agendo sulla polvere stessa o migliorando lo stantuffo. Ma la seconda invenzione pare vada oltre i principi anzidetti, e deve venir stimata tanto, da pensar che confini con il prodigioso...

Senza dubbio pertanto tutti coloro che sono punti dal desiderio di vedere questo semplice e in sé inutile esperimento, possono sforzarsi di costruire una tale macchina o un'altra, che sia adatta all'impulso di un peso scelto come si vuole. In ciò essi dovrebbero farsi assistere da quegli uomini cui è familiare non solo la polvere da sparo ed il modo d'impiegarla, ma anche l'arte della meccanica. Particolarmente in ciò sarà loro d'ausilio l'eccellente opera del defunto signor Blondel: *L'arte di sparare con palle cariche di polvere*, un'opera che potrebbe piú giustamente chiamarsi *Come comprendere a fondo l'arte, la natura e le caratteristiche dei movimenti naturali e forzati*. Lí si ritrovano infatti molte descrizioni dirette allo scopo qui indicato. E con ciò non resta piú alcun dubbio che la piccola quantità di polvere, che di tanto solleva 1600 libbre, non possa un giorno venir impiegata per l'utilità generale, se appena un ricercatore rivolgerà la sua attenzione a toglierne le molteplici difficoltà, soprattutto quelle che impediscono il ripetersi dell'effetto voluto. A quanto detto resta solo ancora da aggiungere, che in questo luogo vicino alla rappresentazione e alla descrizione avrebbe potuto essere facilmente riportato anche un disegno di questa macchina, in base al quale si fosse illustrata la sua azione; senonché la facilità con la quale questa azione può essere svolta e capita lo ha fatto ritenere superfluo, tanto piú che la sua assoluta sicurezza è piú che certa. Hanno quindi abbastanza ragione gli abili ricercatori, di credere che l'esecuzione di simili esperimenti, ancora troppo rari, e sui quali ciascuno deve compiere proprie riflessioni, possa portare una qualche volta ad un risultato fruttifero e utile per tutti. Frattanto ciò è rimesso alla volontà di Dio soltanto. Secondo il Suo retto giudizio a tempo debito apparirà come tutto quanto è stato creato sia destinato all'utile ed al bene degli

uomini. All'uomo spetta pertanto, non solo di credere a questa verità, ma anche di collaborare a ciò con tutte le sue forze, a che egli tutto ciò possa utilizzare e godere con riconoscenza e gratitudine. Lodato sia dunque il santo nome di Colui, per la cui bontà si è potuto superare il primo gradino di quella [apparente] impossibilità sopra ricordata [di un umile impiego della polvere da sparo]: lodato sia, dico, il Suo nome per tutta l'eternità. Amen. [119]

La macchina a polvere da sparo di Huygens non era tuttavia suscettibile di molti sviluppi; la difficoltà di produrre un buon grado di vuoto e di "far ripetere con continuità l'effetto voluto" non si lasciava vincere. Inoltre, trattare la polvere da sparo risultava pericoloso. Nel 1690 l'aiutante di Huygens, Papin, giunse all'idea di provocare il vuoto nel cilindro mediante la condensazione del vapor acqueo (fig. 47). In una lettera al conte Philipp Ludwig von Sinzendorff, dei primi del 1690, ci si presenta la nuova macchina di Papin, una macchina atmosferica a vapore, e le necessità del lavoro nelle miniere, che potevano essere risolte mediante questa scoperta.

Monseigneur! Con profonda deferenza ho ricevuto l'onore, del quale Sua Eccellenza mi ha voluto far partecipe con la grazia di scrivermi dalla Boemia chhe avrei potuto visitare a spese di Sua Eccellenza una miniera resa impraticabile da una quantità d'acqua sotterranea... Desidererei oltremodo testimoniare a Sua Eccellenza il fuoco del mio zelo col renderLe i miei piú devoti servizi, se solo godessimo della pace; ma questa purtroppo è stata turbata in nostra vicinanza e le incertezze della guerra mi inducono a non abbandonare molto a lungo la mia famiglia in simili tempi...

Non dubito però, Monseigneur, che la miniera di Sua Eccellenza potrà essere prosciugata con l'aiuto di questa o di quella macchina, [da me] descritta nella lettera a Sua Eccellenza il signor Conte di Solms. Ma poiché la miniera di Sua Eccellenza è piuttosto lontana dai fiumi, debbo confessare che farebbe bisogno di molto lavoro e di molte spese per poter colà impiegare simili macchine. Ciò mi ha indotto quindi a condurre a compimento un'invenzione, che ritengo assai vantaggiosa per tal sorta di lavori e della quale ho fatto una descrizione negli *Acta Eruditorum* di Lipsia nell'agosto del 1690 (fig. 47).

Poiché l'acqua ha la proprietà di cambiarsi in vapore per effetto del fuoco... e di condensarsi poi nuovamente per effetto del freddo, ho ritenuto che non fosse difficile costruire macchine nelle quali, mediante una moderata quantità di calore e con spesa modesta, l'acqua producesse quel vuoto perfetto, che senza successo si è cercato di ottenere

con l'impiego della polvere da sparo. E fra le molte diverse costruzioni, che si possono progettare allo scopo, la seguente mi è sembrata la migliore. Sia *AA* un tubo del tutto uniforme dall'una all'altra estremità e ben chiuso nel fondo; sia *BB* uno stantuffo che ben s'adatti al cilindro; sia *DD* uno stelo assicurato allo stantuffo; *EE* un'asta di ferro che si possa muovere in *F* attorno ad un asse. Sia *G* una molla agente sul-

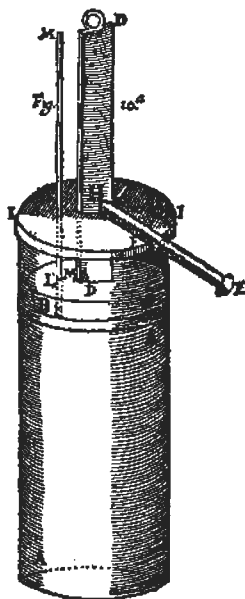



Fig. 47. *Macchina a vapore atmosferica di Papin.* Anno 1690.

l'asta *EE* in modo da farla entrare nell'intaglio *H,* non appena lo stantuffo con il suo stelo si sia alzato di tanto, che tale taglio *H* si sia sollevato al di sopra del coperchio *II*. *L* è un piccolo foro dello stantuffo, attraverso il quale può sfuggire l'aria dalla parte inferiore del cilindro *AA*, quando per la prima volta si caccia dentro lo stantuffo. Per servirsi ora di tale strumento, si versa un po' d'acqua nel cilindro *AA*, per una altezza di tre o quattro linee; si fa quindi entrare lo stantuffo e lo si spinge sino al fondo, cosí che l'acqua salga dal fondo attraverso il foro *L*, che si chiude quindi con la bacchetta *MM*. Si pone allora al cilindro il coperchio *II*, che è pure provvisto di fori, necessari perché esso si possa impiegare senza inconvenienti. Se ora si sarà acceso un fuoco moderato sotto al cilindro *AA*, esso si riscalderà assai

rapidamente, in quanto costituito di una lamiera metallica molto sottile, e l'acqua che si muta in vapore al suo interno, eserciterà una pressione tale, che vincendo la pressione atmosferica spingerà lo stantuffo *BB* in alto fino a quando l'intaglio *H* non comparirà al di sopra del coperchio *II* e l'asta *EE* non sarà spinta dalla molla *G* ad entrare in esso, il che non avviene senza rumore. Si deve allora togliere senza indugio il fuoco, ed il vapore in questo tubo a pareti sottili si condenserà allora nuovamente per effetto del freddo fino a ritornare acqua e farà di nuovo il vuoto assoluto nel cilindro. Si tratterà allora semplicemente di ruotare l'asta *EE* di tanto quanto basta perché essa liberi l'intaglio *H* e faccia scender senza ostacoli lo stantuffo. E succede infatti, che lo stantuffo, sospinto dall'intero peso dell'atmosfera, immediatamente cada giú, e con una forza che dipende dal diametro del cilindro compia quei movimenti che si desiderano...

Ho visto degli esperimenti che lo stantuffo, salito per effetto del calore sino alla sommità del cilindro, vien subito di colpo risospinto fino al fondo; e ciò avviene piú volte consecutivamente, sí che si potrebbe supporre che non esista alcuna quantità d'aria che sospinga dal di sotto, e faccia resistenza alla discesa dello stantuffo. Ora, il mio tubo, che ha un diametro di due pollici e mezzo soltanto, è ugualmente in grado di poter sollevare 60 libbre per tutta l'altezza della quale sale lo stantuffo. Ed il cilindro non pesa neanche 6 oncie...

Ho pure sperimentato che è sufficiente il tempo di un minuto per ottenere che un fuoco di media intensità spinga lo stantuffo fino alla sommità del cilindro...

Si consideri ora l'intensità della forza che si può in questo modo produrre, e le modeste spese che occorre sopportare per la legna, e si ammetterà sicuramente che questo metodo è di gran lunga da preferire a quello della polvere da sparo...

Porterebbe ora troppo lontano il parlare di come questa invenzione si presti ad essere impiegata per sollevar l'acqua dalle miniere, per gettar granate, per far vela in contrario al vento e per gli impieghi di tal sorta che si possono presentare...

Poiché ora questo tubo non potrebbe agevolmente muovere remi usuali, si dovrebbero impiegare remi rotanti... Sarebbe facile mettere in rotazione, con il nostro tubo, degli assi alla cui estremità fossero fissati i remi. Basterebbe infatti provvedere di denti lo stelo dello stantuffo per mettere in movimento delle ruote dentate assicurate all'asse dei remi. E supponendo di avere tre o quattro tubi, che tutti agiscano su di uno stesso asse, si otterrebbe che questo asse si muova di moto

continuo ed ininterrotto... Per l'orologiaio è una cosa di tutti i giorni, fissare ruote dentate su assi, in modo da far girare detti assi quando le ruote girano in un certo senso, e che quando queste girano in senso contrario si muovano liberamente, senza tirarsi dietro in alcun modo il loro asse. Questo asse può cosí avere un senso di rotazione che sia esattamente opposto a quello delle ruote anzidette. La grande difficoltà consiste ora nel realizzare un'officina dove senza grandi sforzi si possano produrre tubi di considerevole diametro e affatto uniformi dalla sommità alla base...

Nel caso Sua Eccellenza gradisse servirsi di quest'ultima invenzione, io posso per certo assicurare di conoscere al presente un ottimo metodo per costruire senza fatica cilindri larghi, leggeri ed uniformi, e di considerare come cosa di cui menar vanto la possibilità di renderVi testimonianza del mio zelo. Con rispetto e devozione sono, Monseigneur, il servitore umilissimo ed ubbidientissimo della Eccellenza Vostra.

Denis Papin
Dottore in medicina, professore di matematica
all'Università di Marburg
e membro della Reale Società di Londra. [120]

Come a Guericke, anche a Papin la realizzazione di un cilindro perfettamente calibrato, nel quale lo stantuffo si movesse con perfetta tenuta, presentò grandi difficoltà. Pure, egli riuscí a precisare, mediante esperimenti, lo spessore necessario delle parti soggette a pressione in una macchina a vapore.

Papin, che nella sua qualità di ugonotto aveva dovuto fuggire dalla Francia, fece nel 1698 una comunicazione da Kassel al filosofo Leibniz per illustrargli una pompa a vapore con caldaia separata dal cilindro, nella quale durante la corsa di lavoro il vapore stesso agiva sullo stantuffo.

...Il modo secondo il quale io impiego ora il fuoco per sollevare l'acqua, si basa pur sempre sul principio dell'evaporazione dell'acqua. Solo che ora lo faccio in una maniera assai piú facilmente realizzabile di quella che avanti ho reso nota. Ed adopero, oltre all'aspirazione di cui mi servo, anche la forza della pressione che l'acqua esercita sugli altri corpi quando si dilata. Questi effetti non sono limitati come quelli dell'aspirazione. Sono quindi persuaso che, se si impiega nel modo necessario questa invenzione, essa potrà riuscire di grande utilità... Personalmente credo pure che si potrà utilizzare questa invenzione anche per molti altri scopi, chè non siano solamente quelli di sollevar l'acqua. Ho costruito un piccolo modello di un veicolo, che si muove in avanti

per effetto di questa forza; ed esso mostra il suo buon funzionamento nel mio cortile. Credo tuttavia che le irregolarità e le curve delle grandi strade renderanno assai difficile il perfezionàmento di questa invenzione per il traffico stradale; ma per quello marittimo nutro la speranza di pervenire presto allo scopo, se troverò maggiori aiuti di quanti ne abbia ora... [121]

Alcuni anni piú tardi, nel 1704, Papin scriveva a Leibniz:

...Mi si dirà forse, signore, che per il sollevamento dell'acqua si impiega preferibilmente la forza dei fiumi e non quella degli uomini. A ciò replico che, quando si può disporre a piacimento di un fiume, è meglio servirsi di esso anziché della macchina a fuoco; ma si danno casi in cui i fiumi mancano completamente, oppure scorrono talmente lontano che l'esercizio delle macchine sarebbe altrettanto costoso che se s'impiegasse la forza degli uomini per sollevar l'acqua. Non ho mai visto la macchina di Marly; ma persone intelligenti mi hanno assicurato che il suo esercizio costa 100.000 franchi l'anno, senza parlare delle prime spese d'impianto. Dico inoltre che la nostra macchina si può impiegare per molti altri scopi, per i quali non ci si può servire della corrente dei fiumi. Credo adunque, signore, che non esista alcuna ragione per la quale Sua Altezza possa negarmi l'onore di far uso del piano da me proposto, senza far torto alla sua intelligenza. Mi rimetto pertanto a lei... [122]

Nel 1706 Papin si lamentava con Leibniz (che mostrava grande interesse per tutti questi problemi) delle difficoltà incontrate nell'esecuzione degli esperimenti sul sollevamento dell'acqua mediante pompe a vapore.

...Si disponeva di spessi tubi di ghisa, per cui si pensava che la cosa migliore e piú rapida fosse servirsi di essi. Personalmente ho subito rilevato che il legante, con il quale si intendevano ungere i giunti fra i tubi, non prestava la necessaria resistenza; ma gli altri la spuntarono. E quando si passò agli esperimenti, si vide che veramente l'acqua si perdeva attraverso questi giunti. E nell'ultimo giunto in basso si formò addirittura un getto d'acqua talmente forte, che Sua Altezza disse subito che le prove non sarebbero potute riuscire. Io però lo pregai umilmente di aver pazienza ancora un po', in quanto ritenevo che la macchina sarebbe stata ancora in grado di fornire tanta acqua da farla salire fino all'altezza voluta, quantunque se ne perdesse una simile quantità in tanti posti. Ed in effetti, continuando la prova, vedemmo per quattro

o cinque volte l'acqua salire fino al punto piú alto del tubo. Si era quindi voluto rinnovare il legante, ma poiché esso era molto caldo, ne entrò nel tubo una gran copia; esso andò a cadere sulla valvola, impedendo cosí che essa si chiudesse nel giusto modo durante la seconda prova che si voleva effettuare. Cosí Sua Altezza diede ordine che si costruissero tubi di lamiera di rame. Poiché questi tubi possono venir saldati assai bene l'uno all'altro, non sono essi esposti agli stessi inconvenienti dei tubi di ghisa... L'assenza di Sua Altezza però causò molto ritardo; poiché adesso gli operai ci lavorano quando non hanno altro da fare. Si è completamente all'oscuro di quando Sua Altezza farà qui ritorno. Ma i piú credono che non sarà prima di San Michele. L'esatta altezza della casa, fino alla quale abbiamo fatto salir l'acqua, è stata da noi misurata, Signore, in 70 piedi solamente... [123]

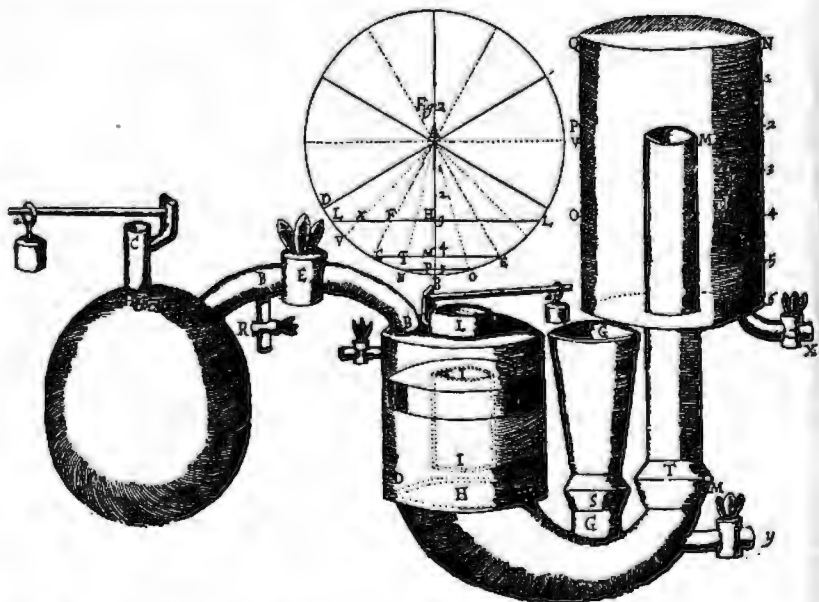



Fig. 48. *Pompa a vapore ad alta pressione di Papin a effetto diretto (senza condensazione)*. A sinistra: la caldaia di rame (larga cm 51) con valvola di sicurezza; al centro: il cilindro D con lo statuffo F; a destra: la cassa d'aria a pressione. Anno 1706.

All'inizio del 1707 Papin aveva spedito a Leibniz la sua opera appena pubblicata, dal titolo *Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam*, nella quale aveva descritto la costruzione, sviluppata nel corso

Bernardino Barbatelli, detto Poccetti. *Preparazione della polvere pirica*. XVI secolo.

del 1706, di una pompa a vapore ad alta pressione (fig. 48). Il filosofo lo ringraziò per il dono, in una lettera scritta da Berlino il 4 febbraio 1707. Le proposte da lui fatte in questa lettera danno a vedere un sicuro senso tecnico.

Mi onoro di aver da poco ricevuto la Vostra lettera ed il gradito dono dell'eccellente libro da Voi pubblicato sui mezzi possibili per impiegare nelle macchine l'evaporazione dell'acqua ad opera del calore. Mi compiaccio di vedere dall'introduzione che sono stato in parte la causa occasionale di questa bella opera...

...Immagino che nella storta [nella Vostra macchina a fuoco] si verifichi un forte consumo d'acqua, e che si debba pensare a un modo per sostituirla; una specie di rubinetto potrebbe realizzare ciò... (fig. 48).

Io ho un'idea che forse non Vi dispiacerà, su un utile impiego del vapore ancora caldo che abbandona la pompa [il cilindro] quando lo stantuffo deve spingersi in alto... Per utilizzar bene anche questo calore [del vapore acqueo], altrimenti superfluo, ... porrei una specie di mantello o di cassa attorno al Vostro recipiente *QN*, riempito in parte di aria compressa, a farei entrare il vapore sotto questo mantello in modo che esso, prima di uscire con violenza all'aria libera, resti fra il mantello e il recipiente e, scaldando quest'ultimo, contribuisca all'effetto dell'aria compressa in esso contenuta...

Non parlerò... del calore residuo del forno e dei fumi che da esso escono, e che pure possono avere un simile impiego, riscaldando fra l'altro l'acqua dell'imbuto *G* e del tubo *H*...

Inoltre non dubito che possiate, volendo, facilmente fare in modo che i rubinetti *E* e *N* [sul cilindro, in alto a sinistra] vengano aperti e chiusi alternativamente dalla macchina stessa, senza che debba intervenire un uomo a farlo... [124]

Nel frattempo, in Inghilterra Thomas Savery aveva scoperto nel 1698 una pompa a vapore nella quale si aveva un gioco alterno di lavoro diretto del vapore, e di azione indiretta mediante la creazione di vuoto. *The Miner's Friend* (come intitolò Savery nel 1702 un saggio relativo alla sua invenzione), avrebbe dovuto essere d'aiuto al minatore nella sua lotta contro le acque di scavo. La macchina non poteva tuttavia mantenere tali promesse, in quanto i dislivelli da superare nelle miniere erano troppo alti. Essa trovò comunque impiego in qualche casa di campagna per l'approvvigionamento dell'acqua. Il primo lavoro pratico fu svolto nelle miniere a partire dal 1711-12 da una grande macchina atmosferica a vapore costruita da T. Newcomen, in connessione, senza dubbio, con le scoperte di Papin, provvi-

sta di una caldaia separata dal cilindro e di un grande bilanciere. La macchina di Newcomen funzionava veramente, e fu introdotta in molte miniere; tuttavia risultava irrazionale per le grandi perdite d'energia: ingoiava enormi quantità di carbone. Soltanto quando il comportamento termico del vapor d'acqua fu conosciuto con maggior esattezza, si poterono percorrere nuove vie. A questo punto ci imbattiamo nell'opera di Watt, che appartiene già al periodo del Razionalismo.

Parte quinta

L'epoca del razionalismo

Introduzione

Nel primo venticinquennio del XVIII secolo quello spirito che ebbimo a definire come tipicamente barocco incominciò ad attenuarsi. L'inclinazione per le cose oscure, il sentimento del metafisico andarono perduti. I legami religiosi si allentarono ulteriormente; e, in contrasto con l'epoca precedente, si andò sempre piú affermando una concezione prettamente razionalistica strettamente unilaterale. Siamo all'epoca del Razionalismo. Ma il razionalismo del XIII secolo non era piú quello dei grandi sistemi del periodo barocco: la ratio era assai piú diretta verso i fatti singoli. Un razionalismo empiristico costituisce adunque il contrassegno di quest'epoca. Con lo strumento della ragione si cercava di penetrare tanto i problemi della religione quanto quelli dei tradizionali procedimenti del lavoro tecnico. Gli sviluppi che ne seguirono furono pertanto diversi da paese a paese. In Francia la concezione razionalistica godette di un'estensione particolarmente ampia, mentre l'Inghilterra anche in seguito fu piú incline all'empirismo puro. Il razionalismo si diffuse anche in Germania; ma la filosofia di Leibniz, che lasciava ampio spazio anche alla metafisica, impedí che il suo sviluppo si facesse esclusivo (benché Christian Wolff, che espose in forma sistematica il pensiero di Leibniz, indulgesse maggiormente ad un razionalismo puro). Kant riuscí poi a chiarire ed approfondire la filosofia razionalistica; il movimento del classicismo tedesco, e quindi del romanticismo tedesco, impedirono al razionalismo di imporsi in termini esclusivi. Anche là dove piú profondi si manifestarono gli influssi occidentali, come nella cerchia di Federico il Grande, essi risultavano tuttavia profondamente modificati, in quanto l'uso della ragione veniva spostato, dal regno del pensiero e del sapere, sul campo del costume e del dovere morale. Tuttavia, malgrado tali dissimiglianze e diversità d'indirizzo, un forte accento veniva posto dovunque sulla forza della ragione, tanto da contrassegnare a buon diritto un'intera epoca.

Le scienze quantitative della natura, contraddistinte dall'unione di ragione ed esperienza, iniziarono il loro cammino trionfale. Con ciò ebbe ini-

zio anche per la tecnica una nuova epoca. Si cercò ora di penetrare con la ragione e di comprendere scientificamente la creazione tecnica, che era ancora determinata soprattutto dalla pratica e dall'esperienza tradizionale. Nella storia della civiltà umana si aperse la via una tecnica sistematica e razionale, che costruiva su basi scientifiche. È per altro degno di nota il fatto che la creazione tecnica incominciò a dare i suoi frutti maggiori solo nella seconda metà del XVIII secolo, mentre la prima metà del secolo si limitò a raccogliere, a sistemare e a vagliare scientificamente le conoscenze tecniche sin allora accumulate.

Le scienze naturali, che già nell'età barocca si erano potentemente sviluppate, compirono ulteriori progressi nel XVIII secolo. Fu data forza sistematica al calcolo infinitesimale; con l'impiego del nuovo calcolo la meccanica si sviluppò come scienza ben definita, che riusciva a racchiudere entro poche formule fondamentali un'ampia molteplicità di fenomeni. La teoria del calore, con la scoperta di uno strumento pratico per la misura del calore, portò ad una chiara distinzione fra temperatura e quantità di calore, e quindi anche al concetto di calore specifico, concetto che riuscí estremamente fruttuoso per i suoi successivi sviluppi; con ciò diveniva finalmente possibile realizzare una macchina termica razionale.

Infine la chimica, che era divenuta una scienza indipendente soltanto nell'età barocca, e che alla fine di quest'epoca pervenne, con la teoria del flogisto, ad una concezione la quale, pur con tutte le sue manchevolezze, consentiva di raggruppare sotto un punto di vista unitario una quantità di fenomeni differenti, ricevette grande impulso nel XVIII secolo per effetto di una serie di importanti scoperte nel campo dei gas, attuate in stretto rapporto con le ricerche di termodinamica. La connessione fra le considerazioni termodinamiche, le concezioni flogistiche e le ricerche sui gas risulta chiara quando si pensi che la teoria del flogisto considerava questo come un'ipotetica materia termica e al tempo stesso come una sottile essenza aeriforme, e che in definitiva si identificava con il flogisto l'idrogeno. Cosí possiamo capire come il chimico Black, partendo dalla teoria del flogisto, giungesse a interessarsi attivamente della chimica dei gas e della teoria del calore. D'altro canto, questi studi sul calore influirono in misura determinante su Watt e sullo sviluppo della macchina a vapore. Solo verso la fine del secolo, quando, sotto la spinta di nuovi risultati sperimentali, la teoria del flogisto risultò insoddisfacente, comparve, intorno al '70, una valutazione logica dei fenomeni chimici, diversa da quella del periodo flogistico: una maggior attenzione fu rivolta ai rapporti ponderali delle sostanze che partecipavano al fenomeno. Con ciò la chimica, seppure in ritardo rispetto alla fisica, sfociò nella corrente delle scienze naturali razionali, tendenti a ciò che può esser misurato.

Tutte le conquiste scientifiche sopra ricordate agirono, prima o poi, in senso favorevole sugli sviluppi della tecnica, che proprio a partire dal XVIII

secolo incominciò in parte a diventare scienza applicata. Questa trasformazione si distingue anche per il fatto che, ad esempio, la costruzione di macchine venne considerata, come una parte della matematica, laddove nel Rinascimento appariva ancora come un'appendice dell'architettura. Anche il Rinascimento aveva mostrato propensione a penetrare scientificamente l'attività di creazione tecnica; ma allora erano soltanto gli empirici che si sforzavano di chiarire con argomenti scientifici il lavoro tecnico: le associazioni scientifiche si tenevano piuttosto da parte. Nel secolo del razionalismo invece, almeno sul continente, erano proprio gli uomini di scienza che per lo piú tendevano alla trattazione razionalistica dell'attività tecnica. Fin dall'età barocca la filosofia razionalistica aveva conquistato le cattedre delle scuole superiori ed aveva cercato di far valere l'influsso del pensiero matematico su tutti i campi della cultura, materiali e spirituali.

Gli anni dalla metà del XVII secolo fino ad oltre la metà del XVIII, furono il periodo d'oro dell'economia mercantilistica. Lo stato cercava di attirare nel paese quanto piú denaro poteva, stimolando le attività artigianali e manifatturiere e aumentando le esportazioni. Dazi protettivi dovevano limitare l'importazione di prodotti finiti. L'iniziativa privata veniva favorita da particolari previlegi (tav. XVII); molte volte lo stato stesso si faceva avanti come imprenditore. Le condizioni erano diverse in Inghilterra, dove già nel XVII secolo erano sorti, come abbiamo accennato, particolari circoli, collegati alle libere chiese, che nella ricerca di una "ascesi" del lavoro terreno si dedicavano con ardore al progresso tecnico e, contrapponendosi allo stato, cercavano di strappargli a poco a poco tutte quelle libertà che servivano al rapido espandersi delle loro imprese. Questi pionieri del progresso tecnico ed industriale si trovavano piú o meno in una condizione di opposizione allo stato. Si formò cosí in Inghilterra un'attività tecnica ed industriale saldamente fondata sull'iniziativa privata, ed indipendente dallo stato. La tecnica si sviluppò in un senso quasi soltanto pratico. Gli operai piú capaci riuscirono in Inghilterra ad emergere con ben maggiore facilità di quanto avveniva sul continente, dove l'artigianato rimaneva legato ai ristretti circoli tradizionali, delimitati da rigorose categorie di casta e di corporazione, e l'impulso allo sviluppo della tecnica e dell'industria veniva dall'alto, dallo stato.

Nel campo della tecnica l'Inghilterra raggiunse presto una posizione di notevole preminenza a confronto del continente. La spinta necessaria per questa eccezionale evoluzione proveniva dalla situazione politica generalmente favorevole, dalla naturale abbondanza di materie prime, e da una legislazione favorevole alla protezione delle invenzioni, oltre che dall'instancabile spirito d'azione del puritanesimo. Al vertice delle grandi realizzazioni tecniche della seconda metà del XVIII secolo sta la macchina a vapore di Watt, costruita con geniale senso tecnico e spirito scientifico. Essa per prima consentí un imprevedibile aumento nell'estrazione del carbone e dei

minerali. L'introduzione del coke nel processo degli alti forni, la scoperta dell'acciaio fuso, del mantice a cilindri e dell'affinamento nel forno a riverbero aprirono al ferro la strada che doveva farne il piú importante fra i metalli. L'impiego di macchine utensili perfezionate e di nuove macchine operatrici, particolarmente nel campo tessile, assieme all'uso della macchina a vapore come motore primo, portarono presto ad una radicale trasformazione delle condizioni industriali. L'artigianato domestico, fosse indipendente o a commessa, doveva ceder sempre piú il posto, nella manifattura dei tessuti, alla produzione meccanica in fabbriche centralizzate. L'aumentato fabbisogno di prodotti chimici, dovuto al rapido incremento della produzione tessile, ed in particolare all'aumentato impiego del cotone, fu di forte impulso per la chimica, che nella seconda metà del XVIII secolo sviluppò i primi metodi per un'alta produzione di acido solforico e di soda: il processo delle camere di piombo ed il processo Leblanc. Queste materie prime, per importanza economica, sono da porsi accanto allo stesso carbone.

L'incremento nell'estrazione dei minerali e del carbone e l'aumento della produzione nelle manifatture e nelle fabbriche nel corso del XVIII secolo (nonché esigenze belliche) portarono ad uno sviluppo dei mezzi di trasporto e delle vie di comunicazione: grande impulso ebbe la costruzione di strade, di ponti e di canali che venne basata, non piú solo sull'esperienza pratica ma anche su conoscenze scientifiche. Nelle regioni minerarie inglesi si incominciarono a utilizzare binari per il trasporto del carbone e dei minerali: i carri, trainati dai cavalli, venivano trasportati con maggior sicurezza su rotaie di legno (o, a partire dall'ultimo terzo del secolo, di ferro). Questi binari rappresentavano un perfezionamento di quelli impiegati nella tecnica mineraria tedesca del tardo Medioevo, che ebbe effettivamente una certa influenza sulla tecnica mineraria inglese.

L'unione di binari di ferro e di carri a vapore, risalenti entrambi, separatamente, al XVIII secolo, portò, all'inizio del XIX secolo, alla prima ferrovia a vapore.

La prima macchina a vapore di Watt fu messa in servizio nel 1776 in una fonderia; nel 1787 fu introdotta nella tessitura del cotone; alla fine del secolo se ne contavano già 84 esemplari. Nel breve periodo compreso fra il 1788 e il 1806, la produzione di ferro greggio in Inghilterra venne quadruplicata. Tuttavia, già nella seconda metà del XVIII secolo il terreno era pronto per un'ampia industrializzazione, quale poi si sviluppò nel secolo XIX. La meccanizzazione generale, con macchine operatrici nuove, azionate dapprima con l'energia idraulica e quindi con le macchine a vapore, non fu priva di profondi effetti sociali, dei quali parleremo piú avanti (vedi pp. 319 sgg.).

La tendenza a penetrare con la ragione e a comprendere scientificamente la creazione tecnica, appare particolarmente evidente, nel primo terzo del XVIII secolo, in Jacob Leupold, di Lipsia, abile meccanico, costruttore di macchine e ispettore di miniera. In lui il senso scientifico si combinava felicemente con l'abilità pratica. Fu autore di una vasta opera[1] sulla costruzione di apparecchi e sulla tecnica meccanica del suo tempo, utile specialmente ai meccanici ed ai mastri artigiani (i veri ingegneri meccanici dell'epoca) e destinata a migliorare l'economia della nazione con lo stimolare "l'artigianato, l'attività mineraria e manifatturiera." Leupold descrive i compiti dell'ingegnere nel modo seguente:

Ciò che un tempo erano questi *mechanici*, lo sono ora i nostri ingegneri, ai quali non solo spetta di progettare una fortezza e quindi costruirla, ma anche di indicare ogni sorta di macchine secondo i fondamenti della meccanica, sia per munire una fortificazione, sia per conquistarla; al tempo stesso, trovare molte specie di macchine complicate per alleggerire il lavoro, e rendere possibile ciò che molte volte sembra impossibile. [125]

Leupold si rivolgeva con sdegno contro i progettisti spacconi, i maestri inventori, i "motoperpetuisti" e gli impresari di prodigi, quelle persone spesso tanto ignoranti quanto disoneste che nei loro calcoli non sapevano tener conto neppure "della forza, del carico e del tempo." Cosí lo spirito fattivo e razionale di Leupold era diretto contro i progetti destinati a vivere soltanto sulla carta, propri di tanti "libri di macchine" del XVII secolo, con i loro meccanismi complicatissimi e in ultima analisi assolutamente irrealizzabili.

Alcuni vogliono con poco sforzo esercitare grande potenza, e ciò anche ai nostri tempi. In poche parole: essi cercano ciò che da tem-

po immemorabile, con tante spese, sforzi e fatiche, altri avevano divisato nella lor mente, ma con grande loro rammarico perduto, prima che pervenisse ad effetto: e precisamente il moto perpetuo; poiché colui che cerca di ottenere da una forza piú di quanto il nostro calcolo o la nostra teoria della meccanica fino ad oggi ci son venuti mostrando, quello cerca ben inutilmente il moto perpetuo, e non lo troverà mai... Pertanto le mie intenzioni ed i miei sforzi sono diretti soltanto a istruire colui che vuol costruire un meccanismo: a insegnargli che non si deve preoccupare di nulla, poiché sa ciò che *theoretice* la sua macchina deve fare e ciò che manca nella *praxis*, anzi sa quale tipo di teoria piú si conviene usare, o in quale maniera egli può giungervi, e precisamente: evitando o eliminando l'attrito e applicando la forza nel giusto modo... [126]

Si prendano e si considerino coloro che si presentano come spacconi e saccenti in ogni cosa: sono per lo piú proprio quelli che non conoscono neppure i principi teorici fondamentali della meccanica e vogliono sembrar dei praticoni. Alcuni hanno in mente la teoria, e anche in *praxi* non sono del tutto sprovveduti: solo, corrono troppo dietro all'immaginazione, e non si preoccupano di esaminare tutte le circostanze relative al perfezionamento che pretendono di aver trovato, e che possono dar luogo ad inconvenienti. Anzi spesso sono cosí sventati da non aver neppure visto una volta l'opera che essi si propongono di migliorare, non che sappiano ciò che la macchina deve fare e in effetti compiere... Se un tale imprenditore avesse prima ben visto la cosa e conosciuto a quanto si era già pervenuti senza la sua pretesa abilità, non si esporrebbe a tanto scorno e non sarebbe di tanta molestia a cosí alte autorità e collegi e addirittura al capo del paese...

E come risulta veramente impossibile far sí che una macchina semplice abbia un effetto superiore anche di un semplice grano a quello di un'altra macchina o della semplice leva con fulcro a taglio vivo, assai meno si potrà ciò ottenere con il comporre i meccanismi e l'adoperare molte ruote, viti e simili macchine complesse; poiché queste sono per lo piú gravate da un carico maggiore. E poiché esse hanno tanti piú perni, denti, movimenti e superfici che strisciano, sfregano e sbattono, cosí ne deriva un tale ostacolo e una tale resistenza per la forza, che essa riesce a compiere assai meno di quanto comporti la teoria.

Questa resistenza, nel suo complesso dovuta all'attrito, chiamata dagli artigiani tedeschi *Stocken* [stagnare] o *Zwängen* [stringere], è la

causa principale e piú importante per la quale una macchina non risulta efficace come un'altra, o come la teoria ed il calcolo comporterebbero.

L'altra causa però è costituita da una applicazione errata della forza. Colui che sarà ora capace di eliminare l'attrito dalla sua macchina e di applicare la forza a regola d'arte, alla domanda: "si può migliorare la macchina?" potrà anche rispondere di sí, e passare per un esperto di meccanica.

Che l'attrito ci rubi la maggior parte della forza lo si può vedere anche con un carrello; ché se anche esso fosse caricato con venticinque o con cinquanta quintali, lo si potrebbe ugualmente spingere con un dito su un piano orizzontale perfettamente piano e levigato; che con vari cavalli lo si possa appena fare, è effetto del solo attrito, che le ruote fanno sui loro assi, e con i loro cerchioni e chiodi sul pavimento o sulla strada non levigata.

Colui pertanto che vuol ricavare dalla sua macchina quanto piú è possibile in base alla teoria, dovrà eliminare quanto piú può tutti gli attriti, il che si ottiene: 1° se la macchina va velocemente; 2° se essa non viene caricata troppo; 3° se ci sono poche parti e pezzi che si muovano sul loro supporto, o che striscino, sfreghino, scorrano o sbattono l'uno contro l'altro; 4° se tutte queste parti sono dure, lisce, rotonde, levigate e se non manca in nessun posto il necessario lubrificante...

Che l'attrito non cresca in proporzione del carico, ma assai piú rapidamente del carico, l'ho dimostrato con una macchina o dispositivo di sollevamento con ruote e meccanismi di ferro. Ho fatto un esperimento ponendo sull'albero un peso di cinquanta libbre, per il quale come contrappeso era sufficiente una libbra; e perché si movesse, dovevo aggiungere alla forza due piombi. Dopo aver però attaccato un carico di trecento libbre, secondo il conto avrebbero dovuto bastare sei libbre e dodici piombi per porlo in movimento: ma erano invece appena sufficienti dodici libbre. Di tanto era aumentato l'attrito: e la macchina era ben costruita, con ogni parte rotonda, levigata e ben lubrificata. Che cosa succederà dunque con macchine rozze, malcostruite, di legno? [127]

Si devono scegliere sopra a tutte, e considerare migliori, quelle macchine che son fatte del minor numero di pezzi, quelle che non sono caricate troppo pesantemente, alle quali la forza può essere applicata agevolmente, senza che se ne perda inutilmente alcuna parte. [128]

Con lo spirito proprio dell'ingegnere, Leupold si dedicò anche ai piú importanti problemi costruttivi e mostrò come si dovevano realizzare le molle, le viti, le ruote dentate e gli stantuffi, nonché i lubrificanti. Piú volte egli trattò anche, da un punto di vista esecutivo, i singoli meccanismi ed elementi, come ad esempio i diversi tipi di valvola e di stantuffo. Con ciò, nel campo della costruzione di macchine, si compie un importante processo già iniziato da Leonardo da Vinci e da Cardano: si giunge a "vedere la generalità nei particolari," (per usare le parole di Reuleaux[4]), non si considera piú la macchina come un tutto unico, ma la si scinde nei singoli meccanismi, e su questi si fissa l'attenzione, ciascuno di per sé, badando al loro impiego particolare. L'influsso esercitato da Leupold fu notevolissimo; anche James Watt studiò le sue opere (e apposta per questo volle imparare il tedesco a Glasgow, da uno svizzero tedesco). A testimonianza degli sforzi di Leupold per integrare lo studio delle macchine con considerazioni economiche sta anche un suo progetto del 1725 sul miglioramento delle macchine per miniera nel principato di Sassonia.

Che una compiuta conoscenza delle macchine nella tecnica delle miniere sia una cosa altamente necessaria, anzi del tutto indispensabile, è cosa da lungo tempo stabilita...

Molti sono anzi del parere che in questo campo si sia giunti tanto avanti da dover solo attendere a perfezionamenti o che i difetti superstiti siano tali da non poterli eliminare con nessun mezzo, sí che nelle vecchie macchine si ha da lasciarli, oppure pensare a invenzioni del tutto nuove. Soltanto che tutto questo è privo di fondamento, fintantoché non conosceremo proprio a fondo le nostre macchine: il che fino ad oggi è quasi completamente mancato. Come può uno dire: la macchina non fa ciò che dovrebbe fare; come può uno pretendere in coscienza di migliorare una macchina o di progettarne una nuova che faccia assai piú della vecchia, qualora non sappia se la vecchia già non faccia tanto quanto Dio ha concesso alla forza di fare, o quanto secondo la teoria le compete?...

Pertanto, quando Sua Maestà Reale di Polonia e il Principe Elettore di Sassonia benignamente si sono compiaciuti di incaricarmi della sopravisione e del miglioramento dei congegni e delle macchine che si trovano in tutte le miniere, io con tutta cura ho riflettuto sul come potessi senza eccessiva perdita di tempo fare e compiere tale ufficio, in modo profondo, onnicomprensivo e durevole, talché non io soltanto, ma anche tutti gli altri, capominatori, carpentieri e minatori, e in definitiva ognuno il quale abbia bisogno di saperlo, o al quale semplicemente piaccia saperlo, possa ricavarne un'idea completa e un chiaro con-

cetto... Per ottenere ciò ho pensato di svolgere i seguenti compiti:

1° tutti i congegni e le macchine che si trovano nelle miniere o nelle fonderie devono venir disegnati chiaramente, in tutte le posizioni necessarie, in tutte le loro parti e pezzi particolari, secondo una giusta scala, e devono venir per quanto possibile chiaramente descritti, e calcolati secondo la teoria;

2° di ogni macchina calcolerò, con la maggior esattezza possibile, la forza, e quali effetti concreti ne derivino; ovvero che cosa compie di fatto ora la macchina, e cosa dovrebbe compiere in base ai suoi principi ed alla teoria: da ciò si vedrà chiaramente fino a che punto la macchina esegue il suo compito, e se resti in essa alcunché da migliorare, e quanto;

3° devono venire ben chiarite con esperimenti e disegni tutte le basi e le cause meccaniche e fisiche, sia dell'effetto che dei difetti, e si deve eseguire il calcolo, e la dimostrazione geometrica o meccanica o come altrimenti risulti piú chiara, di come e in che cosa si speri di arrecar miglioria;

4° devono venir rappresentati i difetti, con le loro cause, e deve vedersi in che misura la tecnica delle macchine possa essere impiegata ad eliminarli, ovvero quanto già si è intrapreso, e che risultato ha dato;

5° ho inventato certe macchine per la misura della forza (in particolare della forza dell'acqua), con le quali, mediante un orologio a secondi o a minuti, con certe tabelle e regole, si può calcolare la quantità di acqua che scorre in un minuto o in un secondo;...

6° tratterò anche delle macchine esistenti presso le miniere straniere;...

7° tutto ciò esporrò in due libri particolari, *Theatra Machinarum*, da stampare a mie spese;...

8° farò costruire diverse macchine di nuova invenzione, non solo per indagare sulla forza delle cascate d'acqua, tanto con ruota per disopra, o a cassette, quanto con ruota per disotto, ma anche per indicare il modo migliore, poiché fino ad oggi ci sono stati a questo riguardo gravi punti oscuri, eppur si tratta di una delle cose piú importanti: il miglioramento delle macchine poggia infatti principalmente su una giusta applicazione della forza, e sull'eliminazione dell'attrito e sulla semplicità della macchina;...

9° in ogni città o villaggio di montagna, dove si trovano macchine e minatori che abbiano bisogno dei principi della meccanica e di macchine, ed abbiano desiderio di sapere, terrò delle lezioni dando accurate indicazioni mediante esperimenti e macchine;...

10° in questo modo sarà facile concepire i miglioramenti, e discu-

terne i pro e i contro con tutti quelli che son pratici di miniere e che sono esperti di macchine, e mettersi con serietà al lavoro. [129]

Nell'epoca della generale diffusione della macchina a vapore, fra i tecnici piú esperti (oltre ai mastri artigiani, che curavano soprattutto la costruzione e la manutenzione delle macchine da miniera) vanno annoverati i costruttori di mulini. La professione del costruttore di mulini, che, come per il mastro artigiano, deriva da quella del carpentiere, in quanto il legno era ancora la materia prima piú importante nella costruzione delle macchine, si era già allargata oltre gli stretti limiti della corporazione. I costruttori di mulini avevano familiarità con ogni specie di lavoro artigianale e disponevano anche di alcune conoscenze teoriche. I libri olandesi sui mulini della prima metà del XVIII secolo mostrano le eccellenti basi su cui poggiavano le capacità tecniche di questi uomini (tav. XXII). L'ingegnere inglese Fairbairn, che veniva appunto dai ranghi dei costruttori di mulini, fornisce un'eccellente descrizione delle loro molteplici realizzazioni.

Il costruttore di mulini dei tempi andati era in certo senso il solo rappresentante dell'arte di costruir macchine; veniva considerato una autorità per tutti i problemi relativi all'impiego del vento e dell'acqua, comunque venissero impiegate queste forze nelle officine. Egli era l'ingegnere della regione in cui abitava: era una specie da factotum. Con la stessa abilità poteva lavorare al tornio, all'incudine o alla pialla. Nei distretti rurali, lontano dalla civiltà, doveva esercitare tutte queste attività artigianali; divenne cosí un ingegnoso individuo sempre in movimento, che poteva dare una mano in ogni occasione. Come altri artigiani erranti, egli andava di mulino in mulino con il suo vecchio grido "Pentole da aggiustare!" che in questo caso si riferiva alle macchine.
Cosí il costruttore di mulini del secolo scorso era un ingegnere errante e un meccanico, che godeva di un'alta considerazione. Sapeva maneggiare l'ascia, il martello e la pialla con uguale abilità e precisione; apprendeva a tornire, a lavorar di trapano o di forgia con la stessa facilità e rapidità di uno che si fosse formato espressamente per queste attività. Sapeva scolpire ed intagliare le scanalature di una pietra da mulino con una esattezza che era pari o addirittura superiore a quella del mugnaio. Veniva chiamato per compiere questi lavori, e raramente lavorava a vuoto, in quanto era abituato a fidare principalmente in se stesso nell'esercizio della sua professione. In genere era un calcolatore perfetto; aveva nozioni di geometria e di agrimensura. Spesso conosceva anche le cose essenziali della matematica pratica. Era in grado di calcolare la velocità, la resistenza e la potenza delle macchine; sapeva

eseguire disegni in pianta ed in sezione e si intendeva di case, tubazioni e fognature, che sapeva costruire in ogni forma e in tutte le condizioni che gli si presentassero. Sapeva erigere ponti, costruire canali ed eseguire molti generi di lavori, che sono ora compito degli ingegneri edili. Di tal sorta erano gli uomini che progettavano e costruivano la maggior parte delle macchine nel nostro paese fino alla metà o alla fine del secolo scorso [XVIII secolo]. In una società piú primitiva di quella in cui oggi ci troviamo, non esisteva una categoria di persone piú utile e completa di questi costruttori di mulini. Essi costituivano il centro attorno al quale gravitava l'intera scienza meccanica del paese. [130]

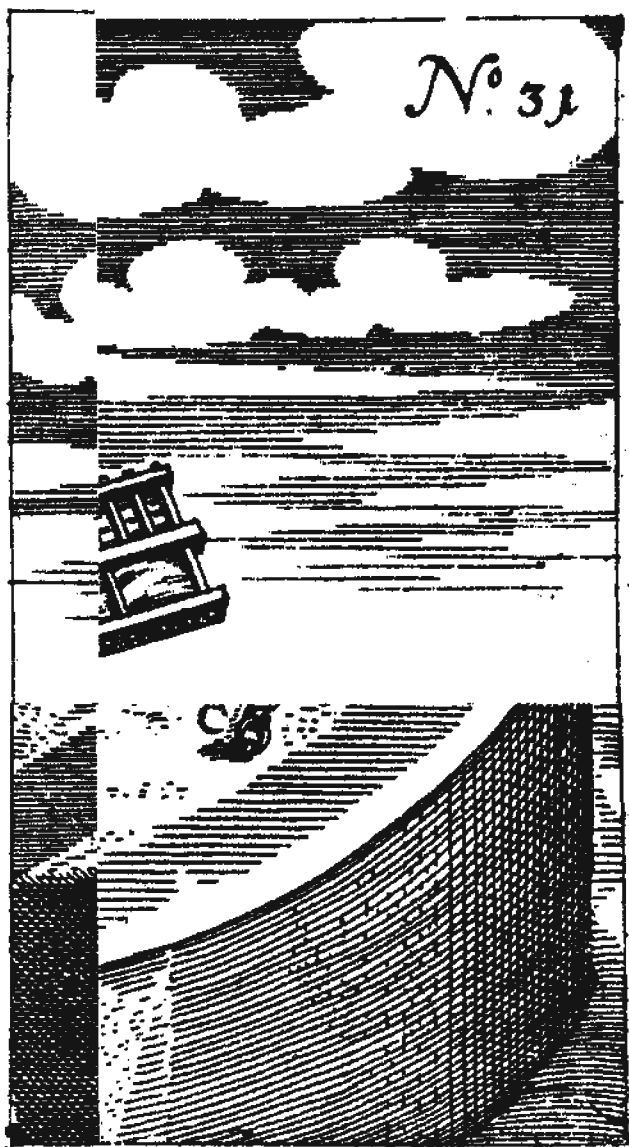
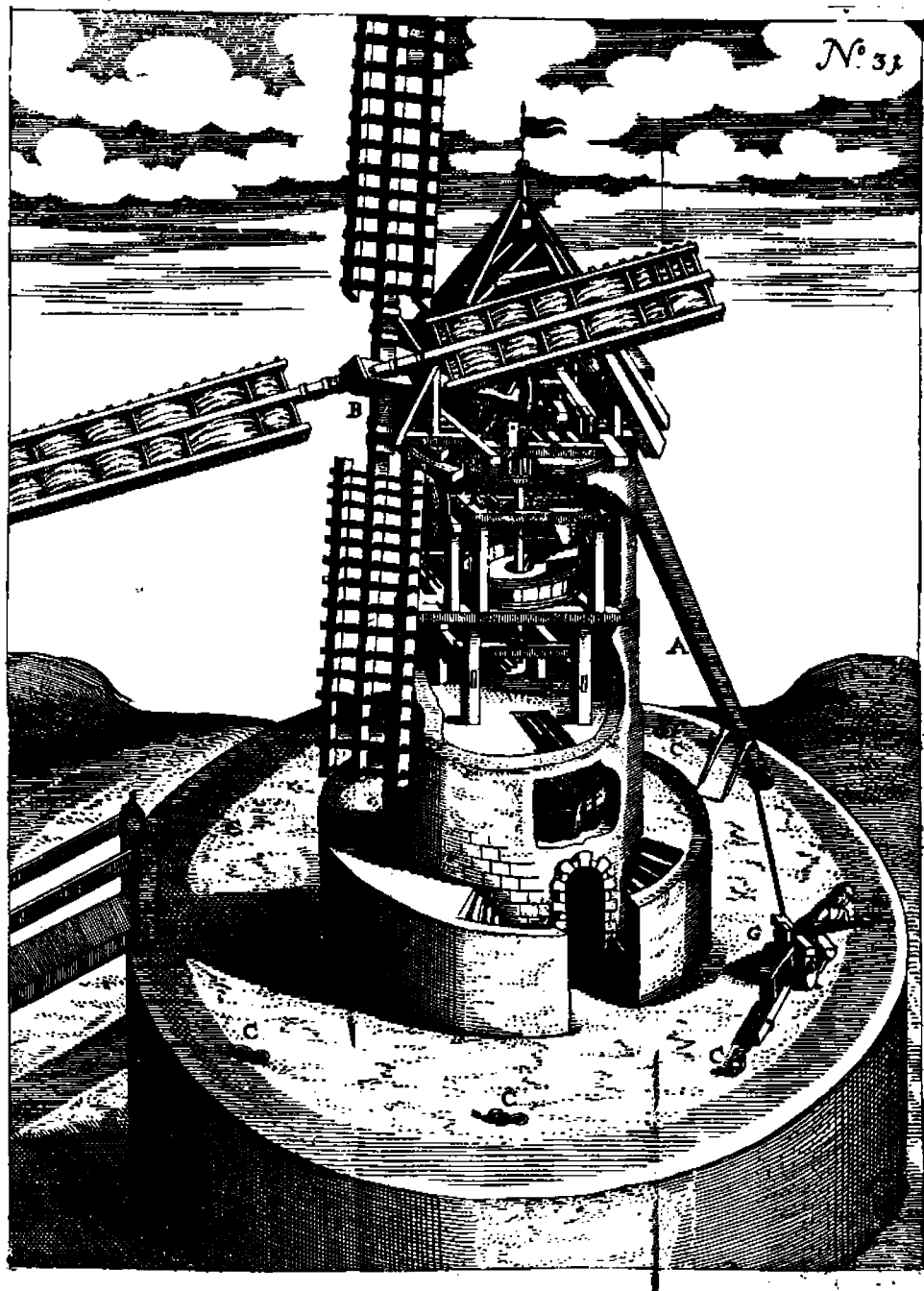
Nel XVIII secolo, come abbiamo già accennato (vedi p. 246), fu notevolissimo l'influsso delle tendenze mercantilistiche. In Isvezia, il mastro artigiano Christopher Polhem, "abile *mechanicus*, esperto della *theoria* quanto della *praxis*, e profondo indagatore delle qualità di tutte le macchine,"[4] si sforzava di rendere il suo paese tecnicamente indipendente dall'Inghilterra. Ci resta un quadro di questi sforzi nel suo *Testamento patriottico*, del 1746.

Abbiamo constatato con piacere come, negli scritti apparsi in questi ultimi tempi, molti abbiano tentato di dimostrare, chi in un modo e chi in un altro, la necessità di costruire manifatture e fabbriche per salvare la patria dai pericoli che la sovrastano; ci meraviglia però che solo pochi abbiano parlato della lavorazione delle nostre materie prime, come se gli innumerevoli affari connessi con i lavori in ferro, acciaio, rame ed ottone non fossero degni di venir compresi fra le manifatture.

All'incontrario, si è piuttosto disposti a considerare una manifestazione di ignoranza e stupidità il parlare di queste cose; si fa questione di impossibilità e di conseguenze pericolose in quanto il nostro commercio non potrebbe piú sollevarsi a petto della potenza straniera. Ma quanto durerà ciò? Non sarebbe tempo di farsi animo, finché ancora ci restano forze, e, all'infuori di noi, quasi tutta l'Europa è impegnata nella guerra?

L'economia degli altri paesi ci serva di campione: tutti i popoli della terra cercano per prima cosa di sfruttare le proprie possibilità, poiché questa è la strada piú sicura per giungere alla ricchezza. Se in un paese estero si trovano fonderie, vi si lavora anche in manifatture locali, la maggior parte del ferro migliore. Con ciò il paese guadagna per ogni *stig*[5] di carbone [impiegato ad affinare il ferro] da 50 a 100

N°. 31

N°. 31
B
A
C
C
C
G
C

talleri di moneta di rame; noi invece per ogni *stig* di carbone impiegato guadagneremo sempre solo 7 talleri, fintanto che gli stranieri non ci pagano lo *skeppund* di ferro piú di 7 *platten*, ovvero 24 talleri di rame; e per ottenere uno *skeppund* di ferro si devono impiegare 6 *stig* di carbone, nel fuoco di estrazione e di affinazione. Trascuro di parlare della manodopera necessaria per l'estrazione del minerale di ferro dalle miniere, fino alla fusione del ferro in lingotti; e trascuro di parlare del valore del minerale stesso, per il quale, cedendo il ferro agli stranieri ad un prezzo cosí basso, non riceviamo assolutamente nulla. Secondo i calcoli piú attendibili stiamo devastando boschi e miniere del nostro paese, cosa che i nostri posteri piangeranno con grande afflizione.

Mi sono quindi proposto di far vedere come da un numero anche minore di boschi e di miniere si possa trarre maggior vantaggio e guadagnare perché non si venda il nostro ferro grezzo in lingotti, ma lo si innalzi ad un maggior valore, lavorandolo, almeno in parte, traendone oggetti di ogni sorta, come fanno gli stranieri, prima di venderlo; e cosí facendo non solo si darà sostentamento a molte migliaia di uomini, ma si risparmieranno i boschi, o quanto meno li si impiegherà con maggior utile e guadagno per il paese; anziché lasciare agli stranieri sia il guadagno che il risparmio. Dio ci aiuti mentre abbiamo gli occhi aperti, non mi faccia morire prima ch'io non abbia goduto della vista di un felice mutamento in questo paese. [131]

Il mercantilismo pervenne ad un particolare grado di sviluppo in Francia. Già Colbert aveva sottoposto alla Accademia delle Scienze di Parigi, fondata nel 1666, parecchi problemi nel quadro delle esigenze mercantilistiche dell'epoca, allo scopo di dare impulso alle industrie ed alle manifatture. Cosí fu deciso, intorno al 1695, di intraprendere, sotto la direzione dell'Accademia, un'ampia, minuziosa, particolareggiatissima descrizione scientifica illustrata di tutti i procedimenti artigianali e di tutti i dispositivi tecnici, allo scopo di portarli alla luce (mentre spesso venivano tenuti segreti) per il bene generale della nazione, e di confrontarli l'uno con l'altro, e di penetrare con spirito scientifico tutta la creazione tecnica, soprattutto nell'interesse dello stato. Nell'anno 1711 fu dato appunto incarico al giovane Réaumur di rivedere il materiale raccolto e di portare innanzi i lavori per questa *Somme de l'état des arts*. Soltanto nel 1761, dopo la morte di Réaumur (avvenuta nel 1757), la grande opera cominciò ad essere pubblicata, con il titolo di *Descriptions des arts et métiers*. Fino al 1789 apparvero 121 parti con oltre 1000 incisioni in rame. Nell'introduzione dell'opera era detto fra l'altro:

La Reale Accademia delle Scienze di Parigi... aveva appena avuto origine, quando decise di descrivere a poco a poco tutti i lavori dell'arte meccanica; in quanto essa era convinta che questa impresa sarebbe stata utile in ugual misura alla ripresa ed all'incremento sia di queste arti meccaniche, sia delle scienze.

Se anche le arti (che sono nate in tempi oscuri ed alle quali l'assidua ricerca, brancolando tuttavia nel buio, ha potuto procurare di secolo in secolo soltanto un lento progresso) per lungo tempo hanno preceduto la costituzione delle società scientifiche, non si potrà esitare a riconoscere che nei paesi e nei tempi in cui le scienze sono state coltivate con diligenza, esse hanno avuto un progresso ben piú veloce. Ci si persuaderà completamente di ciò se si confronterà lo stato presente dell'arte di costruire orologi, di far fuochi d'artificio, delle arti connesse con la navigazione, di quelle che costruiscono istrumenti per la geometria, per l'ottica, per l'astronomia, per la chirurgia, ed infine di tutte le altre arti alle quali sono solidamente diretti gli sforzi delle società scientifiche, con lo stato in cui si trovavano queste arti cento anni fa. Ci si accorgerà allora che esiste una smisurata differenza, che non si può ascrivere al solo caso, ma piuttosto a quegli sforzi che a partire dall'epoca presente si son cominciati a compiere per portare alla perfezione la geometria, la meccanica, l'ottica, la chimica, l'astronomia, ecc.

Quale nuovo grado di perfezione ci si potrà attendere nelle arti se gli scienziati, che hanno acquistato esperienza e conoscenza nelle varie branche del sapere, si dedicheranno al compito di analizzare e esaminare i lavori, spesso ricchi d'ingegno, che l'artigiano esegue nella sua officina! se gli scienziati con ciò si renderanno conto delle esigenze di un'arte, dei limiti entro i quali l'artigiano resta prigioniero, delle difficoltà che lo trattengono, infine delle idee che si possono trarre da un'arte a vantaggio di un'altra, e che l'operaio raramente è in grado di riconoscere da solo! Il geometra, il meccanico, il chimico possono fornire ad un artigiano intelligente gli accorgimenti che gli consentono di superare gli ostacoli dai quali non ha osato liberarsi. Essi lo porteranno sulla via per trovare nuove cose utili. Nello stesso tempo però essi impareranno da lui quali sono le branche della teoria alle quali ci si deve maggiormente dedicare, per chiarire meglio i procedimenti tecnici e per determinare regole esatte e sicure per l'esecuzione di un gran numero di lavori, che dipendono dalla precisione dell'occhio o dall'abilità della mano e la cui riuscita è troppo spesso incerta.

Questo era l'intendimento dell'Accademia delle Scienze, la cui attività è costantemente diretta verso le cose utili, cosí come quello dei suoi membri, intendimento che li indusse ad occuparsi della descrizione delle arti. Dall'inizio del secolo, soltanto adesso si è finito di raccogliere il materiale necessario per questo scopo. Lo scopo che ci si propone è immenso, e soltanto in un periodo di tempo assai lungo si riuscirà a raggiungerlo pienamente. [132]

Quasi contemporaneamente alle *Descriptions*, apparve, per iniziativa di Diderot e di D'Alembert, la grande *Encyclopédie* dell'illuminismo francese.[7] Caratteristica fondamentale di quest'opera era l'unione dello spirito logico-analitico con lo spirito pratico, pragmatico. Il grande quadro razionalistico del mondo e dell'umanità, che in essa aveva preso forma, creava i primi fondamenti di una cultura generale. Gli enciclopedisti tendevano alla scienza come strumento creatore di un'opinione pubblica. Questa diffusione dei "lumi" dovuta all'*Encyclopédie* portò ad un livellamento della cultura, rendendola da un lato strumento di progresso e di liberazione, anche sociale, ma attenuandone, d'altro lato, l'efficacia.

Il fatto che si fosse compresa nell'opera anche la tecnica, la quale anzi vi aveva il posto d'onore, recò un grande impulso alla produzione industriale. La parte tecnica è dovuta in particolare a Diderot, che non mancò di visitare fabbriche e manifatture, e ne descrisse tutte le macchine e tutti i procedimenti, elaborandoli scientificamente. Attraverso l'*Encyclopédie*, che godette di una grande diffusione, la tecnica penetrò per la prima volta nella cultura e nella coscienza generale. Del resto anche prima dell'*Encyclopédie* la scienza della natura e la tecnica avevano assunto un ruolo non trascurabile nelle alte sfere della cultura generale del XVIII secolo. I grandi successi riportati particolarmente negli studi fisici, nel XVII e nel XVIII secolo, in un'epoca già tanto incline alle scienze dell'esperienza e della ragione, avevano fatto sí che pure qualche nozione tecnica fosse entrata a far parte del bagaglio della cultura generale dei circoli piú elevati. Cosí Francesco Algarotti scriveva nel 1737 il *Newtonianesimo per le dame* ed Eulero nel 1768-72 inviava lettere sulla fisica ad una principessa tedesca. L'*Encyclopédie* ebbe il merito di estendere una certa cultura generale, scientifica e tecnica, in ben piú vasti ambienti.

Nel 1755, nella voce "Encyclopédie" del quinto volume della stessa *Encyclopédie*, Diderot affermava che lo scopo di un'enciclopedia era "raccogliere il sapere sparso su tutta la superficie della terra ed esporne l'intero sistema agli uomini che vivono con noi, tramandandolo agli uomini che verranno dopo di noi, affinché tutto il lavoro dei secoli passati non sia stato vano per i secoli seguenti, affinché i nostri posteri, essendo stati meglio istruiti, siano piú virtuosi e piú felici, ed affinché noi non si muoia senza aver bene meritato del genere umano."

Le *Descriptions* e l'*Encyclopédie* potrebbero esser considerate, da un punto di vista puramente tecnico, opere affini, ma diverso era il terreno culturale dal quale erano nate. Le *Descriptions* nacquero dall'atmosfera mercantilistica dell'Accademia di Parigi, rivolta all'innalzamento, da parte dello stato, dell'attività artigianale ed industriale, nella direzione indicata da Colbert. Gli inizi di quest'opera risalgono, come già abbiamo detto, ancora alla fine del XVII secolo. L'*Encyclopédie*, orientata in senso liberale-illuministico, era piú protesa verso il futuro. Réaumur, direttore dell'Accademia, che per lungo tempo aveva atteso alla preparazione delle *Descriptions*, e Diderot, alfiere delle idee dell'*Encyclopédie*, erano avversari. Secondo la testimonianza di Réaumur, gli enciclopedisti fecero eseguire alcune delle loro illustrazioni imitando le incisioni delle *Descriptions*. Con tagliente scherno il vecchio Réaumur diceva di Diderot, che stava lavorando alla parte tecnica dell'*Encyclopédie*: "Il figlio del coltellinaio segue i suoi avi, visto che si è riservata la parte relativa alle arti tecniche."[8] E piú volte ebbe a rilevare con riferimento all'*Encyclopédie* come fosse pericoloso mescolare scienza e politica.

Nel XVIII secolo, come rilevò Müller-Armack,[9] la Germania mostrava, nei suoi vari territori luterani, l'ampio sviluppo di una economia di stato, di cui si occupavano principalmente professori e teologi, con scritti in cui aveva un suo posto anche l'attività industriale. Questa cosiddetta letteratura cameralistica era in qualche modo connessa alla ristrettezza degli staterelli tedeschi. In particolare Johannes Beckmann, professore di scienze economiche a Göttinga, fondatore della scienza delle industrie, o tecnologia, come materia di studio nelle scuole superiori, si sforzò di raccogliere e di esporre scientificamente le conoscenze tecniche ed industriali del suo tempo. "Gli scienziati devono favorire l'incremento dell'industria," era il suo programma.[10] L'insegnamento universitario della tecnologia nel quadro dell'economia statale, quale spesso si presenta nel XVIII secolo, doveva rendere familiari le questioni tecniche e manifatturiere ai futuri amministratori delle Camere principesche. Fin dal 1727 Federico Guglielmo I aveva introdotto nei programmi di studio delle università di Halle e di Francoforte sull'Oder, fra le scienze statali e camerali, la tecnologia.[11] Questa tendenza cameralistica ad introdurre le materie tecnologiche nelle università non poté però svilupparsi compiutamente. Per gli alti funzionari dell'amministrazione, con la fine del cameralismo e l'avvento dell'economia liberalistica divenne importante, nel XIX secolo, una cultura quasi esclusivamente giuridica; ma le discipline tecniche trovarono il loro campo di sviluppo in apposite scuole tecniche superiori.

Le *Descriptions* francesi ebbero successo presso i cameralisti tedeschi; J. H. G. Justi ne intraprese la traduzione in tedesco fin dal 1762; D. G. Schreber, J. Conrad Harrepeter e J. S. Halle la continuarono. Nell'introduzione, Justi scrive:

Si può dire senza adulazione che la fonte prima di gran parte della grande fioritura delle manifatture francesi va cercata in questa Accademia [delle Scienze, di Parigi]. È certo che le merci di manifattura francese sono apprezzate dagli stranieri principalmente a causa della bellezza e della durata dei loro colori; e questa perfezione dei colori è unicamente frutto degli sforzi dell'Accademia. Essa ha fatto compiere ad alcuni dei suoi membri continue ricerche sul miglioramento dei colori; tali miglioramenti sono stati resi obbligatori per legge dalle autorità. [133]

Come saggio particolarmente significativo delle *Descriptions*, riporteremo piú oltre le osservazioni scientifiche dell'ingegner J. R. Perronet (vedi p. 280), del 1762, relative a una manifattura di spilli (tav. XXIV). In questa attività, con una razionale ripartizione del lavoro, si ottenne un sensibile incremento della produzione, quantunque le macchine impiegate fossero ancora relativamente semplici. Dalla produzione di unità singole si giunse a una vera e propria produzione in serie. Si cominciava a tener conto del tempo impiegato nelle singole operazioni.

Lavorando attraverso i primi tre fori, gli operai passano per la trafila 15 libbre di ottone in un tempo di 12 ore; lavorando attraverso i fori piú piccoli invece ne passano solo 10, ché il filo è piú lungo. Si può calcolare che un operaio trafila 28 libbre di filo, e per tale lavoro gli è corrisposto un soldo circa alla libbra; ma egli deve procurarsi gli attrezzi necessari al suo lavoro, in quanto il padrone non gli fornisce che il tartaro. E il mantenimento di tali attrezzi fa diminuire il suo guadagno di circa un terzo...

Il lavoro che spetta agli operai incaricati di rifinire il filo è per lo piú assai penoso; poiché il filo va battuto molto e con forza. In generale essi usano batterlo tre volte debolmente e quindi una volta con forza. Per questo lavoro l'operaio non impiega piú di un'ora, ed in questo tempo riesce a pulire una matassa di filo di ottone di 25 o anche 30 libbre. Dopo di che egli deve passare il filo per la trafila, e cosí in un certo qual modo si riposa; e poiché occorre un giorno per trafilare 15 libbre di filo attraverso tre fori, cosí non gli è necessaria piú di mezz'ora per pulire il filo che si può trafilare in una giornata...

Il lavoro dell'operaio che raddrizza il filo è assai faticoso: egli può infatti raddrizzare fino a 600 tese di filo in un'ora, e poiché egli percorre una seconda volta questo spazio, quando torna alla macchina, egli percorre in tutto 1200 tese ovvero mezzo miglio in un'ora...

Per tagliare una matassa di filo, della lunghezza di 5 tese, in pezzi lunghi 4 pollici e 9 linee, occorrono 22 minuti di tempo. Per raddrizzare il filo, di diversi spessori, e per tagliarlo in pezzi, un operaio riceve per ogni dozzina, che comprende 12.000 spilli, un soldo, e compie poi anche "la tredicesima," [cioè taglia altri 1.000 aghi] per rimpiazzare gli scarti. In un giorno egli può tagliare da 8 a 10 dozzine, e guadagnare cosí da 8 a 10 soldi...

L'operaio addetto all'appuntitura degli spilli tiene in una sola volta 25 pezzi di filo alla mola, se gli spilli sono grossi; oppure 40 se sono sottili. Detta quantità viene detta una presa... In un giorno un operaio può appuntire una "tredicesima" [un altro migliaio] per sostituire gli scarti. Per una dozzina di migliaia egli riceve 15 denari, e pertanto, se potesse lavorare in continuazione, egli guadagnerebbe ogni giorno 18 soldi e 9 denari; ma i migliori fabbricanti di Laigle non comprano giornalmente, attraverso la banca, piú di 7 od 8 dozzine di migliaia di spilli, che rappresentano circa la metà di quanto un operaio potrebbe approntare; e ciò gli riesce di vantaggio, in quanto la polvere di rame che l'operaio assorbe nel respirare gli è di grave nocumento al petto; e se la lastra di vetro protegge i suoi occhi dai pezzetti piú grossi, non li ripara dalla polvere piú sottile. Colui che fa girare la mola riceve un soldo e 9 denari per ogni dozzina di migliaia, comprendendo sempre anche "la tredicesima," che va a supplire gli scarti. Ciò sembra essere assai piú di quanto non riceve l'appuntitore, tenendo conto che questi abbisogna nel suo lavoro di maggior abilità, e che soffre i danni della polvere. Soltanto che colui che aziona la mola ha un compito assai pesante e faticoso, ed oltre a ciò, poiché non sempre ha da far girare la moda, deve prender su di sé il taglio della carta... ed altri compiti...

L'operaio rifinitore riceve un soldo per ogni dozzina di migliaia di spilli, e deve fornire pure "la tredicesima." Egli appronta tanti spilli quanti l'appuntitore, e guadagna quindi un quinto meno di questi...

Per il taglio a misura dei gambi di differente spessore un operaio riceve 9 denari per ogni dozzina di migliaia, e deve sempre fornire in aggiunta "la tredicesima." Usualmente, nel tempo di un'ora egli taglia tre di queste dozzine, e se si sforza un po' riesce a completare anche la quarta, cosicché nel tempo di neanche tre ore egli può completare 7 od 8 dozzine di migliaia, quanto cioè di solito i migliori commercianti di Laigle comandano di fabbricare in una giornata. Un solo tagliatore può pertanto provvedere al lavoro anche di due o tre

fabbriche, guadagnando con ciò in un giorno piú di circa 15 soldi...

Nel tempo di un minuto l'operaio addetto a tagliare le teste degli spilli può eseguire circa 70 tagli con la forbice. Quando ha fatto dodici tagli, egli raddrizza la estremità degli spilli battendovi su con la parte larga della forbice. Ci sono tagliatori che, malgrado questa operazione richieda molta esattezza e proceda con una certa alacrità, riescono a tagliare l'una dopo l'altra l'intero strato di dodici pezzi, senza interrompersi per raddrizzarne l'estremità. Eseguendo l'operaio 70 tagli con la forbice in un minuto, ciò comporta 4200 tagli in un'ora; e poiché egli taglia ogni volta 12 spilli, una stessa persona può preparare nel tempo di un'ora 50400 teste di spilli sottili. Ciò si avrebbe però se egli si affrettasse al massimo. Normalmente invece un operaio riesce a tagliare in un'ora 3000 teste, fra grosse e piccole, e dunque, poiché gli occhi gli si stancano per lo sforzo continuo, in un giorno intero non ne fa piú di 15 dozzine di migliaia; riceve, per ogni dozzina di migliaia di teste, 3 denari, per il taglio delle stesse 9 denari; e poiché è in grado di tagliarne 15 dozzine al giorno, guadagna 11 soldi e 3 denari...

Un operaio può battere in un minuto 20 teste di spilli, fra grossi e sottili; e poiché batte da 5 a 6 volte su ogni testa, cosí l'incudine riceve da 100 a 120 colpi al minuto. Tale operaio prepara in genere 1000 spilli in un'ora, e 10.000 o anche 12.000 in un giorno, senza contare "la tredicesima" per supplire agli scarti. Questi operai ricevono due compensi distinti; precisamente 9 soldi per dozzina di migliaia (sempre compresa la tredicesima dozzina) per gli spilli grossi, dal numero 22 al 14; ed 8 soldi per gli spilli al di sotto di questi numeri, ciò che comporta al giorno da 7 a 8 soldi; essi devono però provvedere lo stampo superiore e quello inferiore, il che costa 10 soldi; inoltre essi devono cambiare questi ultimi quando si devono preparare spilli di altro spessore, il che costa due soldi al mese, circa...

Un'abile operaia può infilzare sui fogli di carta appositi 4 dozzine di migliaia di spilli al giorno; essa riceve un soldo per ogni dozzina. Per lo piú esse ne infilzano da 2 a 3 dozzine. Inoltre esse devono anche selezionare gli spilli, scartando quelli difettosi. Poiché queste operaie compiono generalmente insieme le tre operazioni, forare la carta, infilare gli spilli e selezionarli, esse ricevono due soldi e 6 denari per ogni dozzina, fra grossi e sottili. Le operaie piú abili guadagnano piú di quattro soldi al giorno. I ragazzi dai sette agli otto anni possono guadagnare un soldo al giorno con il solo infilzare gli spilli. Le stesse operaie sono solite anche imprimere sulla carta i marchi e le sigle dei

commercianti. Esse ne fanno un migliaio in un'ora, premendo con la mano aperta la carta sul timbro di legno fissato al tavolo, e riportando il colore sul timbro mediante un grosso pennello, immerso in cinabro preparato in precedenza e mescolato con colla...

Operazioni necessarie alla preparazione di dodicimila spilli del numero 6, che son lunghi 9 linee:

	lire	soldi	denari
Filo (una libbra, 9 once, 6 dramme)	2	9	7
Raddrizzatura e taglio a misura	—	1	—
Appuntitura	—	1	3
Azionamento della mola per l'appuntitura	—	1	9
Finitura della punta	—	1	—
Azionamento della mola per la pulitura	—	1	—
Taglio del gambo	—	—	9
Avvolgitura del filo per le teste	—	—	3
Taglio delle teste	—	—	9
Fuoco per scaldare le teste	—	—	3
Battitura	—	—	8
Tartaro per pulire il filo	—	1	—
Infilzatura degli spilli sulla carta	—	1	—
Il blocco di carta costa 6 soldi. Ne occorrono 5 once e 3 dramme per una dozzina di migliaia di spilli	—	2	—
Per il miglioramento degli attrezzi e per le spese a fondo perduto si può calcolare	—	4	—
Pertanto una dozzina di migliaia di spilli del numero 6 costa circa	3	7	3

Liberalismo economico

Mentre nel mercantilismo e nel cameralismo si manifestava la tendenza alla tutela statale nel campo economico, industriale e manifatturiero, nelle imprese industriali inglesi, ed anche nella cerchia degli enciclopedisti e dei fisiocratici, come già abbiamo sottolineato, si propendeva al liberalismo economico. Questa concezione economica individualistica e liberalistica, che poneva a base di ogni sano organismo economico la libera concorrenza ed il libero commercio, trovò la sua massima espressione nell'opera di Adamo Smith, *Sulla ricchezza delle nazioni*, del 1776. Riportiamo alcuni passi del libro, nei quali si parla della suddivisione del lavoro.

Per dare un esempio tolto da un'industria poco importante, ma alla quale spesso si fa riferimento a proposito della suddivisione del lavoro, e cioè la fabbricazione degli spilli, un operaio che non sia stato addestrato a questa attività (della quale la ripartizione del lavoro ha fatto una vera e propria industria), che non abbia familiarità con l'uso delle macchine che per essa si impiegano (all'invenzione delle quali verosimilmente proprio la suddivisione del lavoro ha dato occasione), con i suoi migliori sforzi riuscirà forse a fare uno spillo al giorno, ma non sarà certamente in grado di farne venti. Ma nella guisa in cui ora si compie tale manifattura, non solo essa costituisce uno speciale mestiere, anzi si divide in molti rami, la maggior parte dei quali costituisce di per sé un mestiere. Un operaio tira il filo, un altro lo raddrizza, un terzo lo taglia, un quarto lo appuntisce, un quinto l'arrota all'estremità superiore, dove si deve porre la testa; il fare la testa richiede due o tre diverse operazioni; il montarla forma pure un'operazione, e il pulire gli spilli un'altra ancora; e perfino infilzarli sulla carta costituisce un'operazione a sé stante. In tal guisa, l'importante mestiere di fabbricare gli spilli si suddivide in circa diciotto operazioni distinte, che in alcune manifatture sono compiute tutte da persone diverse, mentre in

altre uno stesso operaio ne esegue due o tre. Ho veduto una piccola fabbrica dove lavoravano soltanto dieci uomini, e dove pertanto ciascuno d'essi eseguiva due o tre attività diverse. Quantunque essi fossero assai poveri, e non usassero le macchine a ciò maggiormente acconce, pure, impegnandosi a fondo, riuscivano fra tutti a fare dodici libbre di spilli in un giorno. Una libbra contiene piú di 4000 spilli di media grossezza. Quei dieci individui riuscivano pertanto a fare in un giorno piú di 48.000 spilli. Si può adunque considerare che ciascuno d'essi ne facesse la decima parte, e cioè 4.800 spilli in un giorno. Ora, se essi avessero lavorato disgiuntamente ed indipendentemente fra loro, senza che alcuno di loro fosse stato addestrato ad una particolare operazione, ciascuno di loro non sarebbe riuscito a compiere certamente venti spilli in un giorno, e fors'anco neppure uno, cioè certamente non la duecentoquarantesima parte, e forse neppure la quattromilaottocentesima parte di quel che sono intanto capaci di fare con una acconcia suddivisione e combinazione delle loro diverse operazioni.

In ogni altra arte e manifattura gli effetti della suddivisione del lavoro sono simili a quelli di questa industria di poca importanza, benché in molte la suddivisione stessa non possa essere tanto spinta, e le varie operazioni non possano esser ridotte a tanta semplicità. Tuttavia la suddivisione del lavoro, quanto piú può essere applicata in un'arte, tanto piú vi esercita un proporzionale aumento delle forze produttive del lavoro stesso. La separazione dei differenti mestieri e delle differenti professioni sembra essersi originata per considerazione di questo vantaggio. E tale suddivisione si manifesta generalmente in misura assai maggiore in quei paesi che godono di un piú alto grado d'industria e di civiltà; ciò che in una civiltà primitiva è opera di un sol uomo, suole esser opra di molti in una società maggiormente progredita. In ogni società civile, il contadino fa solamente il contadino, l'operaio fa solo l'operaio. Anche il lavoro che è necessario per compiere un qualsiasi oggetto finito, è generalmente suddiviso fra una quantità di mani diverse. Quanti diversi mestieri si hanno in ciascun singolo ramo della manifattura della tela e della lana, dai produttori del lino e della lana agli imbiancatori ed agli spianatori, fino ai tintori ed a quelli che danno al tessuto l'ultimo appretto! La natura dell'agricoltura non consente invece tante suddivisioni del lavoro e una separazione cosí completa delle singole attività come l'industria. È impossibile separare cosí nettamente il lavoro di ingrassare il bestiame da quello di coltivare il grano, come son separati usualmente il lavoro del carpentiere e quello del fabbro. Colui che fila è quasi sempre distinto da colui che tesse, mentre

sovente lo stesso individuo ara, erpica, semina e raccoglie il grano. Poiché tutte queste diverse operazioni si alternano con le stagioni dell'anno, è impossibile che un uomo sia costantemente impegnato in una sola di esse. Questa impossibilità, che fra le varie occupazioni dell'agricoltura sussista una cosí netta separazione, è forse la cagione per la quale il miglioramento delle forze produttive in questo settore spesso non sta al passo con il relativo miglioramento delle forze produttive nel settore industriale. Le nazioni piú ricche superano invero tutte le loro vicine tanto nell'agricoltura quanto nelle manifatture; ma la differenza è in genere assai piú notevole nelle seconde che nella prima. [135]

Questo grande aumento della quantità di lavoro, che, in conseguenza della suddivisione delle varie operazioni, uno stesso numero di uomini è capace di compiere, si deve a tre diverse circostanze; la prima è la maggior destrezza di ciascun singolo operaio; la seconda è il risparmio del tempo che comunemente va perduto nel passare dall'una all'altra operazione; la terza è l'invenzione di un gran numero di macchine che facilitano ed abbreviano il lavoro e rendono un uomo capace di compiere il lavoro di molti. [136]

Questa grande moltiplicazione delle produzioni di tutte le diverse arti, conseguente alla divisione del lavoro, cagiona in una società bene ordinata quella ricchezza universale che si estende fino alle piú basse classi del popolo. Ciascun lavoratore dispone di una gran quantità della propria opera, oltre a quella che a lui stesso abbisogna, e poiché anche gli altri si trovano tutti nella sua stessa condizione, egli ha cosí l'opportunità di scambiare una grande quantità dei suoi propri beni con una grande quantità dei beni di quelli. Egli provvede abbondantemente ad essi quanto a loro fa bisogno, ed essi a vicenda provvedono a lui; e cosí una generale abbondanza si diffonde fra le varie classi della società. [137]

I passi seguenti testimoniano la posizione di Smith, in favore di una attività libera ed autoresponsabile:

La naturale tendenza di ogni uomo a migliorare la propria situazione, quando si possa esplicare con libertà e sicurezza, costituisce un principio cosí potente che conduce da sola e senza l'aiuto della società al benessere ed alla ricchezza, anzi addirittura supera anche le cento specie di ostacoli con i quali la sciocchezza delle leggi umane cerca sfacciatamente di impedirla. Naturalmente l'effetto di questi impedimenti, porta, in misura di volta in volta maggiore o minore, a limitare

la libertà di questo principio o a diminuirne la sicurezza. In Gran Bretagna l'esercizio dell'attività industriale è completamente sicuro, e quantunque esso sia molto lungi dall'esser completamente libero, tuttavia è non meno libero che in qualsiasi altra parte d'Europa. [138]

La liberazione dalla tutela statale e l'affermarsi di un'attività libera e autoresponsabile si compí assai lentamente nell'Europa continentale; come si è visto, in questo campo l'Inghilterra era progredita molto piú rapidamente. Collegata a questo sviluppo era la tendenza della borghesia artigianale e industriale a dotarsi di istituzioni per l'insegnamento tecnico e la formazione culturale. Da questa concezione della libera economia era sorta in Inghilterra, nel 1754, una "Society for the encouragement of arts, manufactures and commerce," che non era un'istituzione statale ma una libera associazione di cittadini intesi ad incrementare la loro libera attività tecnica.

La preminenza tecnica dell'Inghilterra

Lo spirito intensamente economico e l'alacrità tecnica propri del puritanesimo si era andato sviluppando anche nelle colonie americane dell'Inghilterra. Già il primo importante tecnico ed economista dell'America, Benjamin Franklin, che fu pure uomo di stato, ci testimonia una impetuosa tendenza all'attività tecnica ed all'esercizio di una professione, anche se in questo caso, contrariamente a quanto era avvenuto per il puritanesimo del XVII secolo, veniva a mancare il movente religioso:

Ricordati che il tempo è denaro! Chi in un giorno può guadagnare, lavorando, due talleri, e va a passeggio oppure resta in ozio per mezza giornata, anche se durante la sua passeggiata o la sua inattività spende solo sedici soldi, non deve considerare questa come la sola spesa; in realtà, egli ha speso ancora un tallero e otto soldi, o meglio li ha gettati via...

...La strada che porta alla ricchezza, se tu lo vuoi, è altrettanto agevole quanto la strada che porta al mercato. Essa dipende massimamente da due parole: attività e risparmio. Ciò significa: non sprecare né il tempo, né il denaro, ma fa il miglior uso che puoi di entrambi! Senza l'attività ed il risparmio non riuscirai a niente, con essi riuscirai a tutto. Colui che cerca di guadagnare tutto quanto può onorevolmente guadagnare, e (tolte le spese necessarie) si tiene tutto quanto ha guadagnato, diverrà sicuramente ricco, a meno che l'Essere che regge il mondo, e dal quale ciascuno deve impetrare benedizione per la propria onorevole attività, non abbia disposto diversamente in base alla sua saggia previdenza. [139]

Si è già brevemente accennato sopra (vedi p. 245) ai grandi progressi tecnici dell'Inghilterra. Fra le basi sulle quali poggiavano i rapidi sviluppi tecnici della seconda metà del XVIII secolo va annoverata soprattutto l'asce-

sa dell'attività siderurgica, che fu contraddistinta da una ricca serie di significative scoperte, la piú importante delle quali consisteva nel ritrovamento di un procedimento per fondere il metallo grezzo dal minerale impiegando il coke di carbone minerale, anziché il carbone di legna, sempre piu difficile da ottenere. Gli inizi di tale scoperta son dovuti ad Abraham Darby senior (intorno al 1717); suo figlio, Abraham Darby iunior, ebbe parte precipua nella realizzazione del processo. Una lettera di Abiah Darby, moglie del piú giovane dei Darby, scritta nell'anno 1775 ad un amico quacchero, fornisce una chiara rappresentazione di questo progresso tecnico; essa vale pure ad illustrare l'ambiente di lavoro di queste famiglie quacchere, di rigidi costumi, lavoratrici e dedite al progresso tecnico, che tanta parte ebbero nell'industria siderurgica con i loro *ironmasters*. Non solamente la famiglia Darby, ma anche Benjamin Huntsman, Sampson Lloyd, Jeremiah Homfray, la famiglia Reynolds e parecchie altre, che si son rese benemerite dell'industria siderurgica inglese, erano quacchere.

Casa del Sole

Amico egregio,

... non posso fare a meno di deplorar teco il fatto che, come è ben dimostrato dalla tua esperienza, "succede in generale che colui che è stato causa di rovina per l'umanità vive nel ricordo, mentre i benefattori son tenuti in poca considerazione e vengono spesso dimenticati." Ciò sembra discendere dalla corruzione dello spirito, che si pone per meta immediata il guadagno e non riconosce le cause prime del beneficio. E cosí anche i nomi di coloro ai quali si devono le piú importanti scoperte cadono in dimenticanza. Se invece i loro nomi fossero tramandati ai posteri, ne deriverebbe riconoscenza dal ricordo della loro inventività e dalla considerazione del grande utile che si è venuti a godere come risultato dei loro infaticabili sforzi.

Ma passo ora a comunicarti quanto il mio sposo mi ha detto, e a riportarti di ciò quanto è a mia propria conoscenza. Pure ti racconterò quanto mi è stato insegnato da una persona attualmente vivente, il cui padre qui venne all'epoca dei primi inizi di questa industria del carbon fossile.

Comincio ora a raccontare dal principio. È stato il padre del mio uomo, del quale questi ora porta il nome (e precisamente Abraham Darby, che fondò le manifatture di metallo a Bristol o presso questa città), che per primo si arrischiò a colare recipienti di ferro ed altro in forme di sabbia anziché di argilla, come si era fin allora fatto, con un processo assai faticoso e costoso. E questo nuovo procedimento gli riuscí. La prima prova venne fatta a Bristol, con un forno a riverbero.

Intorno all'anno 1709 egli venne a Coalbrookdale nella contea dello Shropshire, ed assieme con altri soci stipulò un contratto d'affitto degli stabilimenti, che comprendevano solamente il vecchio altoforno ed alcuni magli. Qui egli colava gli oggetti di ferro in forme di sabbia dall'altoforno, che veniva azionato con carbone di legna, in quanto nessuno aveva pensato d'impiegare carbone minerale. Solo in un secondo tempo gli venne l'idea che poteva risultar conveniente fondere il ferro dal minerale nell'altoforno impiegando carbone di miniera. Egli tentò dapprima con carbone grezzo, tale e quale veniva scavato dai pozzi, ma senza successo. Non si lasciò tuttavia scoraggiare e trattò il carbone fino a farne una specie di scoria, come già si faceva negli essiccatoi del malto; e pervenne ad un risultato soddisfacente. Egli trovò tuttavia che soltanto una qualità di carbon fossile era adatta per produrre un buon ferro. Si trattava di invenzioni assai utili, in quanto il colare ed il fondere in sabbia anziché in argilla portava grandi vantaggi, sia rispetto alle spese, sia rispetto alla minor perdita di tempo. Ed a voler paragonare cose piccine con le grandi, ecco che l'invenzione della stampa starebbe allo scrivere a mano come il colare in sabbia sta al colare entro forme d'argilla. Egli costruí allora un secondo altoforno ed ingrandí l'officina. Queste invenzioni furono presto risapute ed arrecarono grandi vantaggi.

Il luogo ed i suoi dintorni erano assai poveri, e fra gli abitanti v'era assai poco denaro. Anzi, a quanto ho sentito, essi erano costretti a scambiare i loro prodotti di maggior necessità l'uno con l'altro, in luogo di impiegare denaro, fino a quando non venne il mio sposo e prese l'officina per dirigerla, e portò denaro fra la gente che era impiegata presso di lui. Ma malgrado i servizi da lui resi al paese, non ebbe che oppositori e nemici...

Mio suocero morí molto presto. Era un uomo timorato di Dio ed un ottimo servitore della sua comunità quacchera.

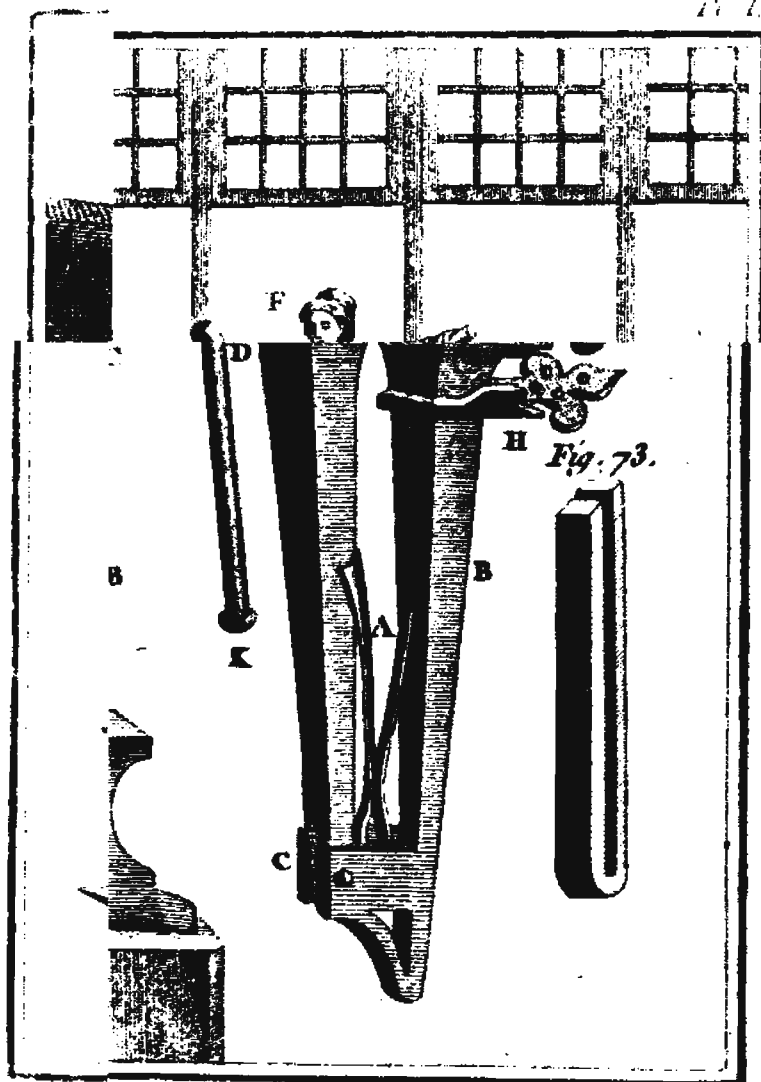
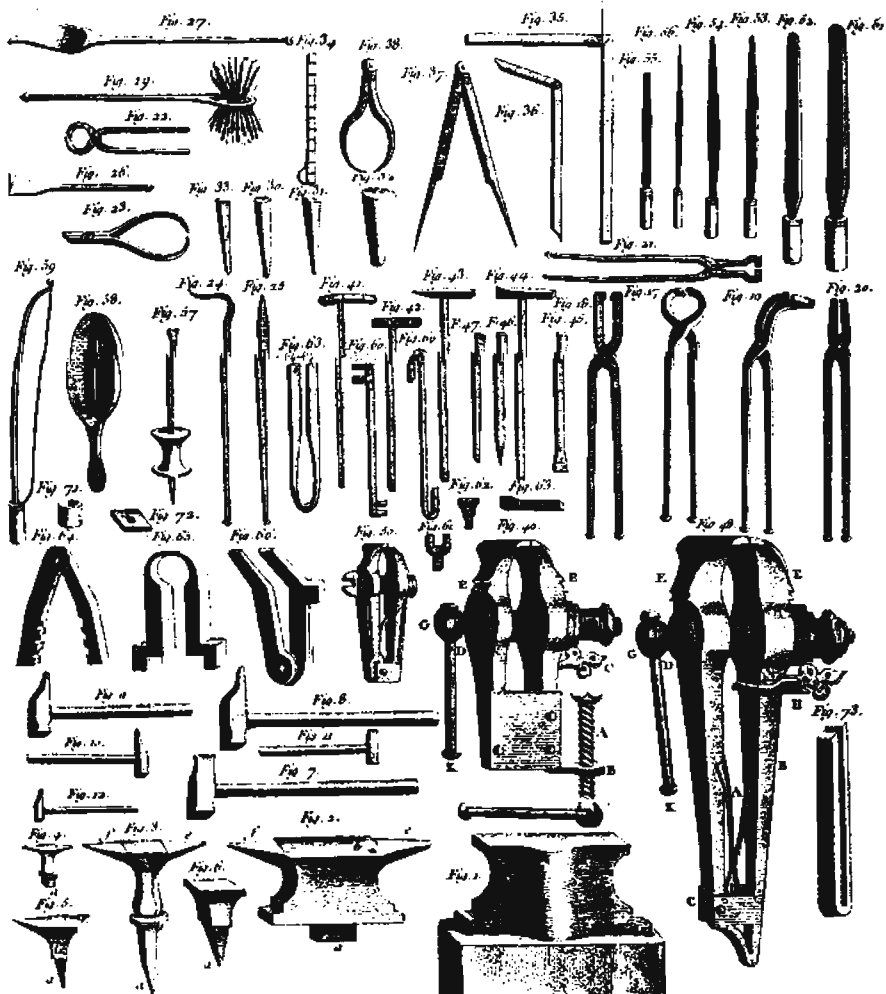
Il mio sposo, Abraham Darby, aveva giusto sei anni quando suo padre morí; ma ne ereditò lo spirito. Egli ampliò lo stabilimento secondo i progetti paterni e vi apportò molti miglioramenti. Il successo di questo stabilimento fu ottenuto fra l'altro con le misure seguenti.

In estate o nella stagione secca, quando c'era scarsità d'acqua, ci si vedeva costretti a ridurre la ventilazione degli altoforni, e di solito una volta all'anno anche a lasciarli spegnere, il che produceva una grossa perdita. Il mio sposo propose perciò di installare una macchina a vapore per pompar su l'acqua dallo stabilimento posto piú in basso e condurla oltre, in modo da servire abbondantemente gli altoforni

con la continua circolazione dell'acqua. Ciò fu di grande convenienza per lo stabilimento, e l'esempio fu seguito da altri.

Ma per tutto questo tempo non si era mai pensato di ottenere ferro in lingotti nel processo di raffinazione partendo da blocchi di ferro grezzo fusi mediante carbon fossile. Ventisei anni fa mio marito ebbe la felice idea, che sarebbe stato possibile fabbricare lingotti di ferro da blocchi fusi mediante carbone di miniera. Perciò egli inviò alcuni dei blocchi di nostra produzione alla raffinazione, e perché non si formassero dei pregiudizi, non rivelò da dove provenivano e di che tipo erano. E poiché la loro lavorazione diede buoni risultati, egli attrezzò gli altoforni per la produzione di ferro grezzo destinato alla fabbricazione di lingotti. Edward Knight, un eccellente fonditore, esercitò grandi pressioni su mio marito per indurlo a prendere un brevetto, onde godere per anni il frutto della sua invenzione; ma egli rispose che non voleva precludere alla comunità questa conquista, della quale egli era convinto. Cosí tale invenzione fu collaudata, dal fatto stesso che essa si diffuse presto, ed in tutti i luoghi vicini come pure lontani molti altoforni furono attrezzati per questo scopo.

Se queste scoperte non fossero state fatte, il commercio del ferro con i nostri prodotti sarebbe diminuito di molto, in quanto la legna per il carbone da legna si andava facendo sempre piú scarsa, ed i proprietari di terre richiedevano per la legna in cataste prezzi esageratamente alti; la cosa non sarebbe stata piú sopportabile a un certo punto. Ma con la sostituzione del carbon fossile in luogo di quello da legna, il consumo di questo si è ridotto di molto, e penso che in pochi anni l'impiego di questo materiale cesserà.

Egli fu anche l'autore di molti altri miglioramenti. Un servizio che egli rese a questa industria fu ancora questo. Qui la gente usava trasportare a dorso di cavallo tutti i materiali di costruzione delle miniere ed il carbone; egli tuttavia pervenne a che si costruissero strade, dotate di traverse e binari, cosí come sono impiegate nell'Inghilterra del Nord, per trasportare le merci su carri fino ai fiumi ed agli altoforni. Un simile carro con tre cavalli può trasportare tanto quanto venti cavalli riescono a portare sul dorso. Ma l'armatura dei binari in legno produsse scarsità e fece alzare i prezzi del legname. Cosí negli ultimi anni fece le traverse dei binari in ferro fuso, che è ugualmente caro, ma va molto bene dal punto di vista della durata e del consumo. Possediamo nei vari stabilimenti quasi venti miglia di questi binari, che secondo quanto detto sopra costano circa 8000 lire per miglio. Io credo che l'impiego delle traverse di ferro *e degli assi per questi carri* siano inven-

E.th Haussard Sculp.

zioni del mio sposo.

Nella sua attività egli si limitò sempre al campo della siderurgica ed argomenti connessi. Era onesto nei commerci, possedeva grande bontà e dolcezza, viveva rigorosamente secondo le leggi divine e morali, era fedele al suo Signore e Salvatore, era dotato di una grande forza sopra il suo proprio animo, forza che con l'aiuto di Dio lo rendeva capace di superare con energia tutti gli ostacoli. Può sembrar molto strano che un uomo cosí stimato abbia avuto molti oppositori; tuttavia egli ne ebbe. Quei signori pieni d'invidia e di cupidigia non potevano sopportare di vederlo prosperare. Essi cercavano di guadagnare quanto piú era loro possibile alzando continuamente l'affitto per le loro miniere di carbone e per i pezzi di terreno su cui egli voleva porre i binari, e minacciando cosí di far interrompere il lavoro. Egli però ebbe ragione di tutti, e morí in pace, amato e stimato da molti. [140]

Da quando John Kay nel 1733 aveva accelerato il processo della tessitura con l'invenzione del battente a navetta volante, si ebbero vicendevoli incrementi nella continua meccanicizzazione della filatura e della tessitura. Un processo di tessitura piú efficiente produsse una maggior domanda di filato, e quindi la necessità di accelerare il procedimento di filatura; una macchina per filare piú progredita richiedeva a sua volta una maggior meccanizzazione dei telai. Le singole invenzioni fatte in questo campo, le une condizionate dalle altre, non verranno qui considerate in particolare. Con questi sviluppi, particolarmente rapidi da quando, nel 1774, il Parlamento inglese consentí l'impiego di stoffe interamente di cotone di produzione completamente nazionale, si fece sempre piú forte la necessità di disporre di motori migliori di quelli costituiti dalla pura forza muscolare dell'uomo. L'azionamento idraulico delle macchine per filare, che fu introdotto nel 1775 circa, costituí già un progresso; ma le forze idrauliche non erano disponibili dappertutto, ed in misura sufficiente. Crebbe cosí il bisogno di una sorgente d'energia efficiente, indipendente dal tempo e dalle stagioni. La soluzione del problema si ebbe con la macchina a vapore di Watt con movimento rotatorio.

Partendo dalla macchina a vapore atmosferica di Newcomen (tav. XX), che lavorava in modo poco razionale, Watt riuscí a progettare una nuova macchina, il cui consumo di carbone era appena un quarto di quello della macchina di Newcomen. Watt ottenne ciò facendo compiere il lavoro nella sua macchina non all'aria, come in quella di Newcomen, ma alla pressione del vapore, ponendo intorno al cilindro un mantello di vapore, che impedisse la dannosa condensazione del vapore all'ingresso, ed inserendo infine un condensatore separato dal cilindro. Negli sforzi di Watt, coronati da successo, per realizzare una macchina a vapore di utilità pra-

tica, sono da distinguere due linee di sviluppo: quella costruttiva, che correva da Guericke a Papin, Savery e Newcomen, e quella fisica, contraddistinta dagli studi del XVII e XVIII secolo sui fenomeni termici. La macchina di Watt, che fu ulteriormente perfezionata da lui stesso, rappresenta il risultato di un geniale senso costruttivo, e insieme dell'applicazione delle conoscenze scientifiche alle proprietà del vapore, determinate mediante misure ed esperimenti; ed in ciò essa rappresenta, a differenza della macchina di Newcomen, il prodotto di una tecnica animata dalla scienza.

La traduzione in pratica dei geniali concetti ispiratori non fu facile. Particolari difficoltà presentò anche per Watt la realizzazione di cilindri di precisione; ed a questo riguardo fu utile l'invenzione di un trapano perfezionato, fatta da John Wilkinson. Infine contribuí molto al successo della nuova scoperta la felice collaborazione di Watt con un capace imprenditore, Matthew Boulton. Nelle acciaierie di Wilkinson incominciò a funzionare nel 1776 la prima macchina a vapore di Watt. Presto essa forní lavoro nelle miniere, nelle fonderie, e, negli anni dopo il 1780, come macchina per il movimento rotatorio delle industrie tessili. La realizzazione di macchine utensili e di macchine operatrici di grandezza e capacità sempre maggiore fu resa possibile dalla macchina a vapore di Watt, che rendeva disponibile una sufficiente quantità di energia.

Il brevetto per la prima macchina a vapore di Watt viene qui riportato come il piú significativo documento della storia della tecnica del XVIII secolo.

A. D. 1769. N. 913. Macchine a vapore ecc. Descrizione del brevetto di Watt. A tutti coloro, alla vista dei quali questo scritto perverrà, io, James Watt, di Glasgow in Iscozia, commerciante, invio il mio saluto.

Conciossiacosaché Sua Altissima Maestà Re Giorgio III, con sua lettera di brevetto recante il sigillo di Gran Bretagna, in data 5 gennaio dell'anno nono del regno di Sua Maestà, a me, il nominato James Watt, diede permissione, potestà, previlegio ed autorizzazione, che io, il nominato James Watt, i miei esecutori, amministratori ed incaricati, siamo autorizzati, per un determinato numero di anni, ad utilizzare, esercire e vendere il mio "Metodo nuovamente trovato per la riduzione del consumo di vapore e di combustibile nelle macchine a fuoco," e ciò dovunque in quella parte del regno di Gran Bretagna che vien nominata Inghilterra, nel territorio del Galles, nella città di Berwick sul Tweed ed inoltre nei possedimenti e nelle colonie di Sua Maestà; ed io, il nominato James Watt, vengo obbligato, nella suddetta lettera di brevetto, a fornire, con firma e sigillo, un'accurata descrizione dell'essenza della mia invenzione, che deve venir registrata presso la Can-

celleria Superiore di Sua Maestà, entro quattro mesi dalla data della lettera di brevetto sopra nominata;

si sappia dunque che, in adempimento all'obbligo ed alla deliberazione anzidetti, io, il nominato James Watt, dichiaro che quanto segue costituisce un'accurata descrizione della mia scoperta di cui è questione, e del modo e della maniera nei quali la stessa fu eseguita.

Il mio procedimento per la riduzione del consumo di vapore e, di conseguenza a ciò, del combustibile nelle macchine a fuoco, si basa sui seguenti principi.

Anzitutto, il recipiente nel quale devono trovare applicazione le forze del vapore per azionare la macchina, e che nelle usuali macchine a fuoco viene detto cilindro del vapore, ma che io chiamo invece cassa di vapore, deve venir mantenuto, per tutto il tempo che la macchina lavora, ad una temperatura tanto alta quant'è quella del vapore all'ingresso, e ciò si otterrà in primo luogo con il circondare la cassa con un mantello di legno o di qualche altra sostanza che conduca male il calore, in modo che, in secondo luogo, si possa mettere attorno ad essa vapore o qualche altro corpo riscaldante, ed in terzo luogo che né acqua né altro corpo a temperatura piú bassa del vapore abbia ad entrare nella cassa o venir in contatto con essa.

Secondariamente, in queste macchine, che lavorano con condensazione parziale o totale, il vapore dev'esser addotto nei recipienti adibiti alla condensazione, che sono separati dalla cassa o dal cilindro del vapore e vengono collegati a questi solo per qualche istante. Indico questi recipienti con il nome di condensatori, e questi, mentre la macchina lavora, devono essere mantenuti, mediante acqua o altri corpi freddi, almeno tanto freddi quanto l'aria che circonda la macchina.

In terzo luogo, non appena l'aria, o altri vapori elastici non condensati dal freddo dei condensatori, abbiano a disturbare l'andamento della macchina, questi devono essere allontanati, con l'impiego di pompe trascinate dalla macchina stessa, o in altro modo, dalla cassa di vapore o dai condensatori.

In quarto luogo, io mi propongo di impiegare la forza di espansione del vapore per azionare gli stantuffi o quanto altro venga adoperato in luogo di questi, nello stesso modo nel quale si utilizza ora nelle macchine a fuoco usuali la pressione atmosferica. Nei casi in cui non sia disponibile l'acqua fredda nella quantità necessaria, le macchine possono venir azionate da questa sola forza del vapore, lasciando uscire all'aria libera il vapore, dopo che questo ha compiuto il suo lavoro.

In quinto luogo, nei casi in cui si desidera ottenere un moto di

rotazione attorno ad un asse, dò alla cassa di vapore la forma di un anello cavo ovvero di canali circolari, con entrate ed uscite apposite per il vapore, e monto gli stessi sopra un asse orizzontale, come le ruote dei mulini ad acqua. Negli stessi è prevista una serie di valvole, che consentono ad un corpo di scorrere entro i canali in una sola direzione. In queste casse di vapore sono posti dei pesi, che riempiono in parte i canali, e che vengono mossi dentro a questi nel modo ancora da indicare. Quando il vapore viene immesso in questa macchina fra quei pesi e le valvole, esso esercita su entrambi una uguale pressione, cosí che esso solleva il peso da una parte della ruota e, in seguito alla reazione operante contro le valvole, pone in rotazione la ruota, poiché le valvole si aprono in quella direzione secondo la quale è stato spinto il peso, e non nell'opposta. Mentre la cassa del vapore ruota, essa viene alimentata con vapore dalla caldaia, e quel vapore, che già ha fornito il suo lavoro, può venir condensato oppure scaricato nell'aria libera.

In sesto luogo, intendo adoperare in taluni casi un certo grado di freddo, che possa comunque non trasformare il vapore in acqua, ma soltanto addensarlo notevolmente, cosí che la macchina funzioni per le espansioni e contrazioni alternative del vapore.

Infine, per la tenuta dei cilindri o di altre parti della macchina all'acqua ed al vapore, adopero, anziché l'acqua, l'olio, le sostanze resinose, il grasso animale, il mercurio ed altri metalli allo stato fuso.

In fede di ciò, oggi, al venticinque di aprile dell'anno del Signore millesettecentosessantanove, ho posto in calce alla presente la mia firma ed il mio sigillo.

James Watt (L. S.).
Sigillato e consegnato alla presenza di
Coll. Wilkie.
Geo. Jardine.
John Roebuck.

Si osservi ancora che il nominato James Watt dichiara che nulla di quanto contenuto nella quarta proposizione si riferisce alle macchine nelle quali l'acqua da sollevare entra nella cassa di vapore stessa od in qualsiasi altro recipiente che sia in collegamento diretto con essa.

James Watt.

Testimoni:
Coll. Wilkie.
Geo. Jardine.

E sia manifesto che il sopra nominato James Watt si è trovato, al

venticinque di aprile dell'anno di Nostro Signore 1769 nella Cancelleria del nostro Real Signore ed ha riconosciuto la precedente descrizione e tutto quanto descritto e contenuto nella stessa nel modo scritto sopra. E' pertanto la presente descrizione viene stampigliata in base all'ordinanza dell'anno sesto del regno dei defunti re e regina Guglielmo e Maria d'Inghilterra ecc.

Registrato al ventinove di aprile dell'anno di Nostro Signore millesettecentosessantanove. [141]

Nella stessa epoca nella quale le prime macchine di Watt avevano cominciato a funzionare, J. Smeaton presentò una macchina a vapore atmosferica perfezionata. Smeaton, senza cambiare in nulla d'essenziale il principio di funzionamento della macchina di Newcomen, aveva determinato con calcoli ed esperimenti le dimensioni ideali della macchina e ne aveva fatto eseguire con la massima cura possibile tutti i vari particolari. Cosí, nello spirito di una tecnica poggiante su basi scientifiche, il celebre ingegnere riuscí a dare alla macchina il piú alto grado di perfezione; ma la macchina di Watt, grazie al geniale spirito inventivo di questi, impiegava solamente la metà della quantità di carbone richiesta da una macchina atmosferica di Smeaton di uguale potenza.

La preminenza inglese in quell'epoca nel campo tecnico ed in quello industriale era evidente. Nell'Europa continentale il progresso era assai piú lento. In Germania, già dal 1785 era stata messa in servizio la prima macchina a vapore di Watt costruita nel paese, una macchina a bassa pressione a semplice effetto, per il sollevamento dell'acqua nelle miniere presso Hettstedt, non lontano da Mansfeld, ma negli altri campi della tecnica questo tipo di macchina penetrò soltanto agli inizi del nuovo secolo.

I viaggiatori tedeschi in Inghilterra, alla fine del XVIII secolo, restavano ammirati di fronte alle meraviglie tecniche, per la loro epoca smisurate, delle fonderie, manifatture e fabbriche inglesi. Nel 1791 Georg Reichenbach (che piú tardi doveva fondare a Monaco un istituto di studi meccanico-matematici assieme con J. Utzschneider e Jos. Liebherr) nel corso di un suo viaggio in Inghilterra, intrapreso da lui, ventenne, in compagnia dell'ispettore meccanico bavarese Joseph von Baader per studiare le realizzazioni inglesi nel campo delle macchine, vide nella fabbrica di Boulton & Watt a Soho la macchina a vapore a doppio effetto di Watt per il moto rotatorio. Ne eseguí uno schizzo di nascosto (fig. 49), e ne scrisse quanto segue nel suo diario.

Quel giorno dopo pranzo alle cinque partimmo con la carrozza postale da Londra per Birmingham e qui arrivammo il 10 luglio 1791 alle dodici; lo stesso giorno ci recammo a Soho dal signor Boulton, e

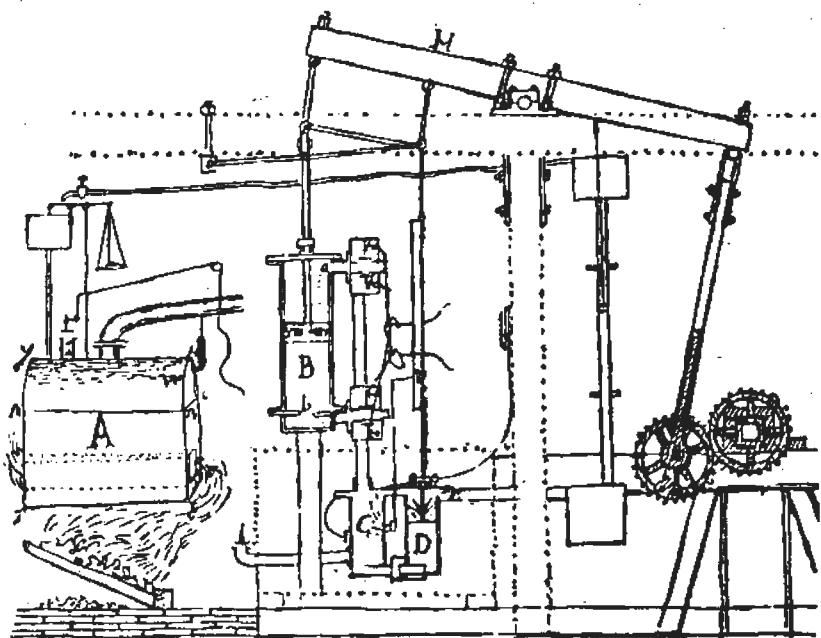



Fig. 49. *Macchina a vapore a doppio effetto di Watt, con moto rotatorio.* Lunghezza del bilancere m 4,75 circa. Schizzo di G. Reichenbach; anno 1791.

qui il signor Baader dichiarò al signor B. per quale ragione ero venuto: precisamente per studiare il meccanismo della macchina a fuoco di Watt; egli però non ne mostrò grande gioia, poiché il suo carattere è piuttosto chiuso. Cenammo presso di lui e la stessa sera alle 10 ritornammo a Birmingham. Il mattino seguente ci recammo di nuovo da Boulton, e qui mi capitò anche di vedere il signor Watt. Per tutto quel giorno ci trattenemmo colà ed ottenni anche di vedere alcune macchine a fuoco. Quella stessa notte, alle ventiquattro, il signor von Baader partí da Birmingham alla volta di Wigan, per recarsi alla fonderia che esiste colà. Il giorno seguente [il 12 luglio] me ne partii dalla mia locanda per andare a Soho, ma sfortunatamente per quattro ore non riuscii a trovare la strada, per il fatto che non potevo chiederne ad alcuno; quando finalmente la trovai, e giunsi all'alloggio fissato, ebbi di che preoccuparmi per la disgraziata posizione in cui mi trovavo per imparare alcunché, e per il fatto di essere cosí separato da ogni amico; ma cercai subito di togliermi da questa poco piacevole posizione, e la considerai presto dal suo lato vantaggioso, in quanto, senza

riguardo per i segreti dei signori Watt e Boulton, con piccole mance mi procurai una occasione favorevole per studiare compiutamente il meccanismo delle macchine a fuoco o a vapore di Watt. Lavorai solo sei settimane ai miei disegni, perché non solo dovevo restar nascosto al signor Boulton, ma anche a tutti gli operai che colà si trovavano; per questo motivo tale lavoro mi costò un'inenarrabile fatica, perché non solo non ero in grado di chiedere alcunché a quegli uomini, ma non lo avrei comunque dovuto fare, per non sollevar sospetti, e mi era quindi solo concesso di vederle di tanto in tanto...

Questa è la costituzione della macchina di Watt (fig. 49)... La caldaia del vapore A deve stare con il volume del cilindro B in rapporto pari a 170035:11793, o piú brevemente 14,418:1, o ancora piú brevemente 14½:1 circa...

La macchina faceva 24 corse in un minuto. Consumo netto del vapore in un secondo senza perdite, 5,04 piedi cubi. Superficie delle valvole 7 pollici quadrati. Velocità del vapore all'immissione attraverso la valvola in un secondo 104 piedi. Superficie della caldaia toccata dal fuoco o dalla circolazione di esso 80 piedi quadrati. In base a ciò 16 piedi quadrati toccati dal fuoco o dalla sua circolazione danno un piede cubo di vapore in un secondo...

Il signor Watt ha dotato la sua macchina del massimo grado di durata e di vantaggio, e ha dato al suo vapore la forza di mantenere in equilibrio l'atmosfera, ed ancora una colonna d'acqua di 8 piedi, cioè la pressione di questo vapore contro un vuoto perfetto sarebbe pari a quella di una colonna d'acqua di 41 piedi di misura inglese. [142]

Nel XVIII secolo si era tentato di applicare le scienze alla creazione tecnica. Cosí già intorno alla metà del secolo XVIII, l'ingegnere francese B. F. de Bélidor, aveva cercato di "applicare le teorie della meccanica alle macchine," piú di quanto non si fosse fino allora fatto, com'ebbe a dire Christian Wolff.[12] In Bélidor, Wolff vide realizzati gli sforzi suoi e del suo tempo, di perfezionare le arti mediante le scienze matematiche, aumentando in tal modo la felicità degli uomini. Bélidor impiegava già anche il calcolo infinitesimale, da poco scoperto, per la soluzione di problemi idrotecnici, e cioè di quelle questioni che "riguardano la pura e semplice attività pratica."[13] Bélidor contribuí a porre le basi della fama acquisita dalla Francia nelle scienze applicate, fama che fu accresciuta nell'ultimo terzo del secolo da C. A. de Coulomb, J. R. Perronet e M. R. de Prony, per non citare che tre nomi. L'Inghilterra percorreva invece piuttosto la strada della pura sperimentazione pratica. Ma non vogliamo però sottovalutare l'importanza capitale che ebbero le ricerche scientifiche sulla teoria del calore per la realizzazione della macchina a vapore di Watt.

L'applicazione delle scienze alla tecnica però si scontrava sovente con la resistenza dei puri pratici, tanto piú che molte volte essa non otteneva i successi sperati. Papa Benedetto XIV fece esaminare nel 1742-43 la statica della Cupola di S. Pietro, che presentava alcuni danni. Una commissione di tre matematici eseguí fra l'altro una perizia sulle cause dei danni e sui metodi per eliminarli. In ciò si cercò di risolvere il problema matematicamente mediante considerazioni meccaniche assai notevoli, anche se insufficienti da un punto di vista moderno. Parecchie voci si levarono contro il metodo "matematico." G. Poleni riferisce fra l'altro le obiezioni di un critico sconosciuto.[14]

"L'ispezione de' danni, che si osservano nella cupola di S. Pietro, delle cagioni e rimedi opportuni, non è principalmente una di quelle congiunture, nelle quali richieggonsi piú della pratica le teorie de' ma-

tematici. Si può confermare lo stesso argomento con alcune riflessioni sopra un precetto dato da' tre matematici nella loro scrittura agli architetti, qual precetto si mostra per piú capi esser falso... Se poté la cupola di S. Pietro idearsi, disegnarsi, lavorarsi, senza i matematici, e nominatamente senza la meccanica, coltivatissima d'oggi giorno, potrà ancora ristorarsi, senza che richieggasi principalmente l'opera de' matematici, e della matematica." E mostra [l'autore sconosciuto], che il Buonarroti non sapeva di matematica, e pur seppe architettare la cupola vaticana... "Io non cedo ad alcuno nella debita stima, che ho d'una scienza sí bella, sí nobile, sí perspicace, e congiungendo alla stima anche l'amore, non per altro da molti anni ho consacrato al suo studio quanto di tempo mi è rimasto libero da altre occupazioni. Ma, perché appunto ho grandissima stima di questa scienza, altamente me ne dispiace il suo abuso, sapendo esser solita disgrazia delle cose ottime l'esser abusate con maggior pregiudizio."

Federico il Grande, in una lettera a Voltaire del 1778, si faceva allegramente beffe di un dispositivo di sollevamento dell'acqua, calcolato da Eulero in base ai principi della matematica, ma che non funzionava.

Gli inglesi possiedono navi costruite con la sezione maestra piú vantaggiosa, in base al giudizio di Newton; i loro ammiragli mi hanno però assicurato che alla lunga tali navi non tengono poi il mare cosí bene come quelle costruite in base alle regole dell'esperienza. Nel mio giardino volevo far costruire una fontana; Eulero calcolò la potenza delle ruote che dovevano sollevar l'acqua in un serbatoio, affinché essa poi avesse a risalire in alto nella fontana, essendovi condotta da opportuni canali. Questo mio dispositivo di sollevamento è stato eseguito in base ai calcoli matematici, ma tuttavia esso non è riuscito a sollevare una sola goccia d'acqua fino a cinquanta passi dal serbatoio! Vanità delle vanità! Vanità della matematica! [144]

I lavori di Coulomb, dell'ultimo quarto del XVIII secolo, testimoniano il successo dell'applicazione delle scienze sperimentali ai problemi della tecnica. L'editore della seconda edizione della *Théorie des machines simples*, compiuta dal Coulomb nel 1781, scrisse al proposito:

Nello sviluppo dello spirito umano, tutto è collegato. Se le scienze progrediscono, si perfezionano anche le arti e le industrie. Ciò si è potuto osservare in Francia, particolarmente nell'ultimo trentennio. E Coulomb ha straordinariamente contribuito a questo miglioramento

mediante i trattati in cui ha esposto le sue ricerche. Si trovano in essi numerosi esperimenti, descritti in tutte le loro particolarità, per persuadere dell'esattezza dei risultati ottenuti, e generalmente presentati nella loro elaborazione analitica. Quest'ultima, per essere compresa, richiede conoscenze di matematica. Ma gli artisti, che non sono versati nelle scienze matematiche, possono sempre studiare con profitto l'intera parte sperimentale.

Proprio attraverso lo studio delle opere dei grandi possiamo pervenire a sviluppare le nostre conoscenze. Chi trascura questo studio e lo tiene in conto di poco utile, non arriverà ad impadronirsi della teoria dell'arte da lui esercitata. E se alcuni per talento, felice disposizione e circostanze favorevoli si elevano con i propri mezzi sopra i loro compagni di mestiere, vorrà dire che questi saranno riusciti solo dopo molti brancolamenti a trovare da soli una teoria che, si può dire a loro insaputa, li guida. Tutti questi inconvenienti non esistono per l'artista che si sia abituato a leggere e studiare le opere degli scienziati che hanno trattato delle arti. Proprio per questa classe di artisti le trattazioni di Coulomb... possono riuscire di grande vantaggio. In esse troveranno rappresentati i modi ingegnosi scoperti dall'autore per dotare le sue ricerche di quella esattezza massima che è possibile raggiungere. In esse riconosceranno anche le precauzioni che egli ha preso nel corso dei suoi esperimenti, per evitare quelle sciagure che avrebbero potuto colpire gli uomini che lavoravano sotto di lui. [145]

In particolare, Coulomb cercò nel 1776 di applicare con acutezza di pensiero i teoremi matematici relativi ai massimi ed ai minimi ai problemi di scienza delle costruzioni. Cosí fu in grado di calcolare la resistenza relativa di una trave a sezione rettangolare, incastrata ad una estremità, orizzontale ed elastica, cosa in cui Galilei non era ancora riuscito. Riportiamo quale esempio dei limpidi lavori di Coulomb alcuni passi sulla pressione delle terre sopra i muri di contenimento (fig. 50), e sul calcolo delle volte.

Sulla spinta delle terre. Ci rivolgiamo alla determinazione della spinta delle terre (fig. 50) contro i muri di contenimento, che sostengono il terreno... Prendiamo un triangolo rettangolo (come superficie fondamentale del prisma di rottura), un cateto del quale sia verticale e la cui ipotenusa tocchi una superficie inclinata, sulla quale esso tenda a scivolar giú. Se ora questo prisma, spinto dal proprio peso, viene trattenuto da una forza orizzontale, consistente nell'attrito e nella coesione, che agisca lungo detta ipotenusa, potremo determinare facil-

mente questa forza orizzontale, in condizioni di equilibrio, in base alle proposizioni della statica. Osserviamo inoltre che la massa del terreno, che qui viene supposta omogenea, in caso di rottura si può separare non solamente lungo una retta, ma anche lungo una linea curva qualsiasi. Ne consegue quindi che, per poter contenere la spinta di una superficie contro un muro verticale, fra tutte le superfici che possono venir tracciate contro un muro verticale e che, spinte obliquamente verso il basso dal loro peso, sono trattenute dall'attrito e dalla

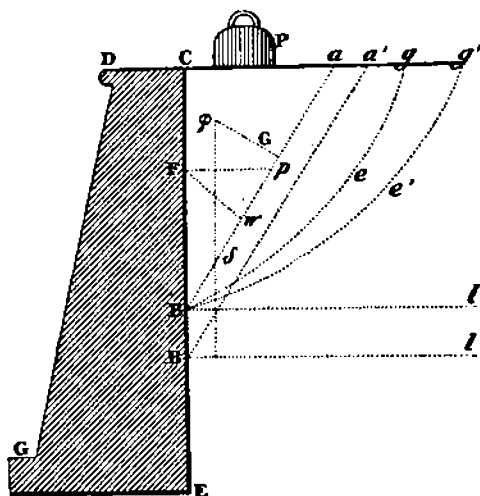



Fig. 50. *Teoria della spinta delle terre.* Schizzo di Coulomb; anno 1776.

coesione, dobbiamo cercare quella per la quale la forza orizzontale necessaria per l'equilibrio è la massima. È chiaro infatti che per qualsiasi altra figura, che in condizioni di equilibrio richiede una forza minore, la corrispondente massa di terra non si può staccare. Poiché l'esperienza dimostra che la linea di rottura delle masse di terra che porrebbero in movimento il muro è press'a poco una retta, è sufficiente in pratica determinare, fra tutti i triangoli che esercitano una spinta sul muro verticale, quello che per essere trattenuto abbisogna della forza più grande. Non appena si sarà determinata questa forza, se ne dedurranno facilmente le dimensioni del muro di contenimento.

Sulle volte. Qualunque sia il numero e la direzione delle forze che agiscono su una volta, che sia formata come precedentemente supposto [escludendo cioè l'attrito e la coesione nei giunti delle pietre della

volta], la forma di questa volta, come ho dimostrato, è pur sempre quella di una catena che venga tirata dalle stesse forze... Le formule che prescindono dall'attrito e dalla coesione dei giunti non possono però essere di utilità nella pratica. Tutti i geometri che si sono occupati di tale questione ne sono persuasi. In tal guisa, per giungere a risultati suscettibili di applicazione, bisogna fondare il calcolo su ipotesi che lo avvicinino alla realtà della natura. Queste ipotesi consistono usualmente nel considerare la volta come suddivisa in parecchie parti e nel cercare quindi le condizioni di equilibrio di queste varie parti. Ma poiché il modo di effettuare questa suddivisione risulta alquanto arbitrario, ho cercato di determinare con la regola dei massimi e dei minimi quali sarebbero gli effettivi punti di rottura in una volta troppo debole... Per quanto mi è stato possibile, ho cercato di riferire chiaramente i principi dei quali mi sono giovato, affinché anche un artista dotato di pochi studi possa capirli e servirsene. [146]

La tecnica francese, contraddistinta dall'applicazione dei principi scientifici alla risoluzione dei problemi pratici, ebbe alla fine del secolo nell'École Polytechnique di Parigi un degno luogo di studio e d'insegnamento. Quest'alta scuola di tecnica su basi scientifiche sorse nel 1794-95 soprattutto per le esigenze della tecnica bellica della Francia nelle guerre della Rivoluzione. A. F. de Fourcroy, il chimico cui va soprattutto il merito della diffusione delle teorie di Lavoisier, riassunse brevemente nel 1794 le numerose suddivisioni della professione dell'ingegnere, per le quali l'École Polytechnique doveva impartire la formazione scientifica fondamentale. All'École Polytechnique erano annesse pure alcune scuole superiori di specializzazione.

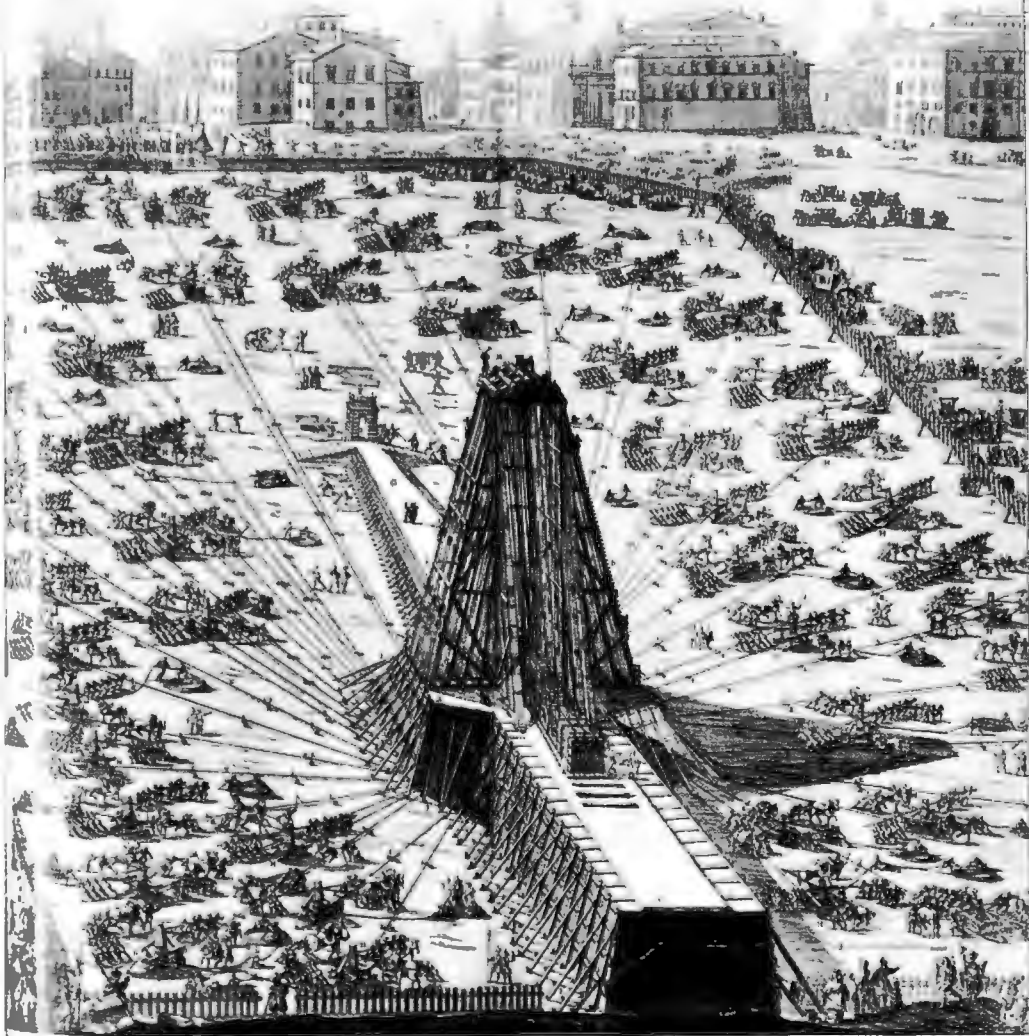
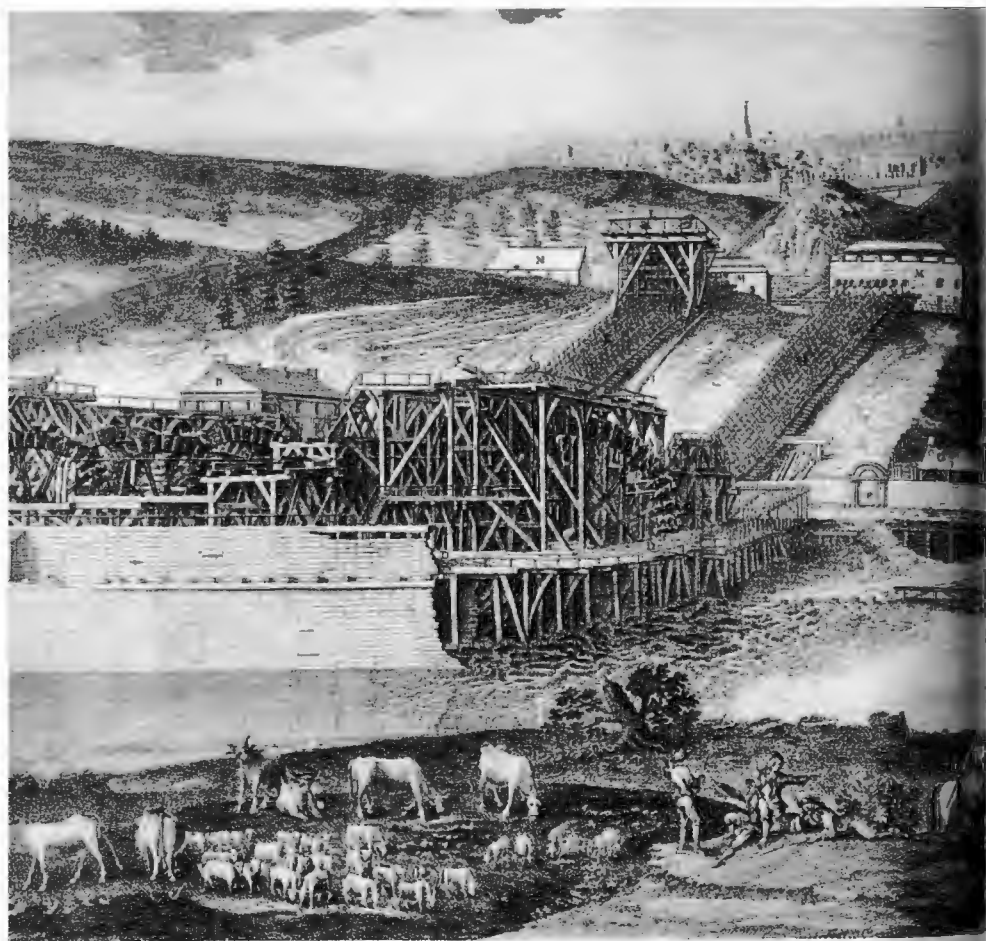
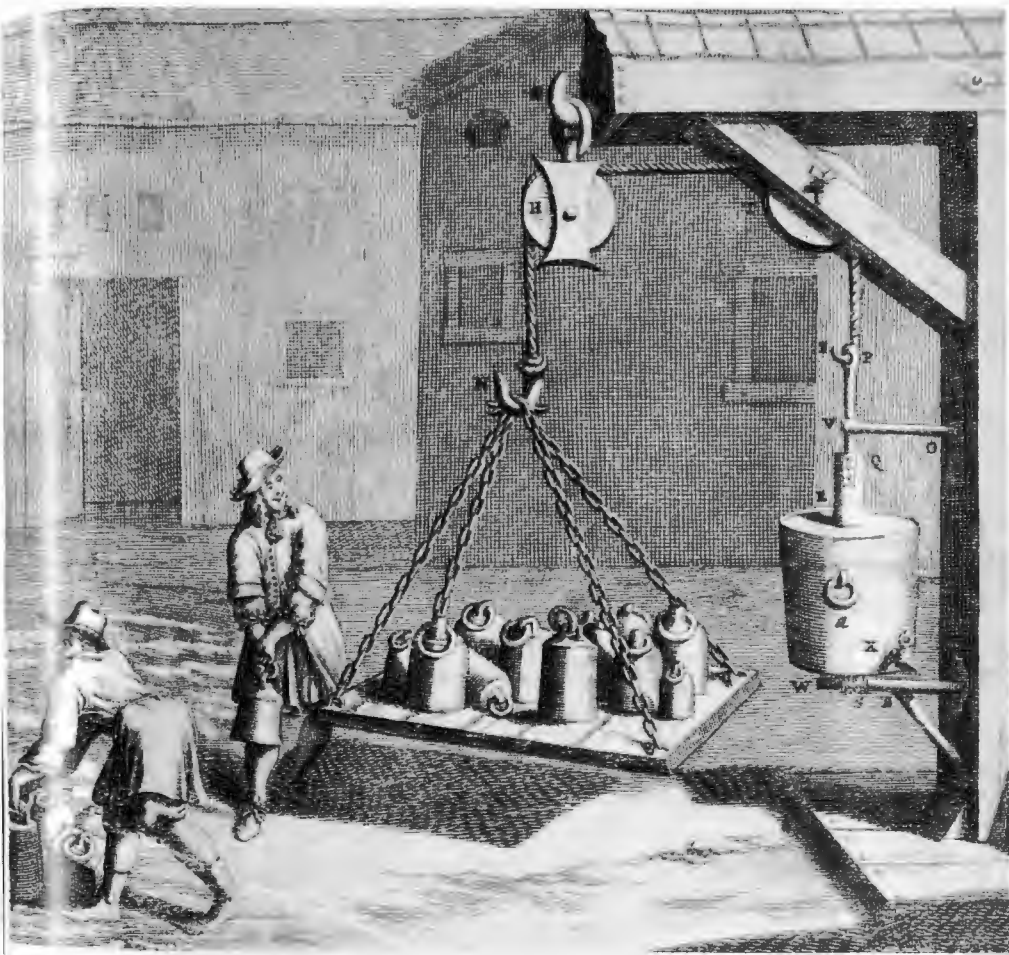
Ci occorrono: 1) ingegneri militari, per la costruzione ed il mantenimento degli impianti di fortificazione, per l'assalto e la difesa di luoghi e accampamenti, per la costruzione ed il mantenimento di edifici militari, come caserme, arsenali, ecc.; 2) ingegneri civili, per la costruzione e la manutenzione delle vie di comunicazioni terrestri e per acqua, come strade, ponti, canali, chiuse, porti di mare, dighe, fari, edifici per la marina; 3) ingegneri topografi, per la riproduzione di carte terrestri e marine generali e particolari; 4) ingegneri minerari, per la ricerca e l'utilizzazione dei minerali, per il trattamento dei metalli e per il perfezionamento dei processi di fonderia; 5) ingegneri navali, per la marina, che dirigano la costruzione di tutti i natanti, che diano alle navi le caratteristiche piú opportune per i loro partico-

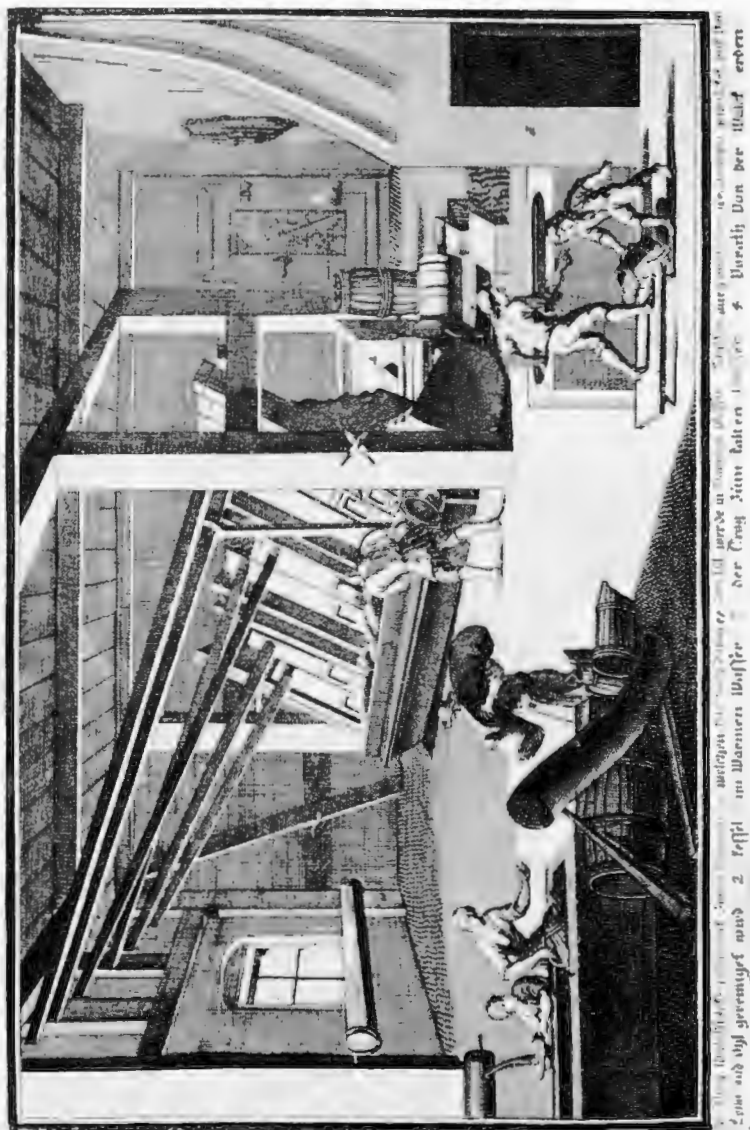
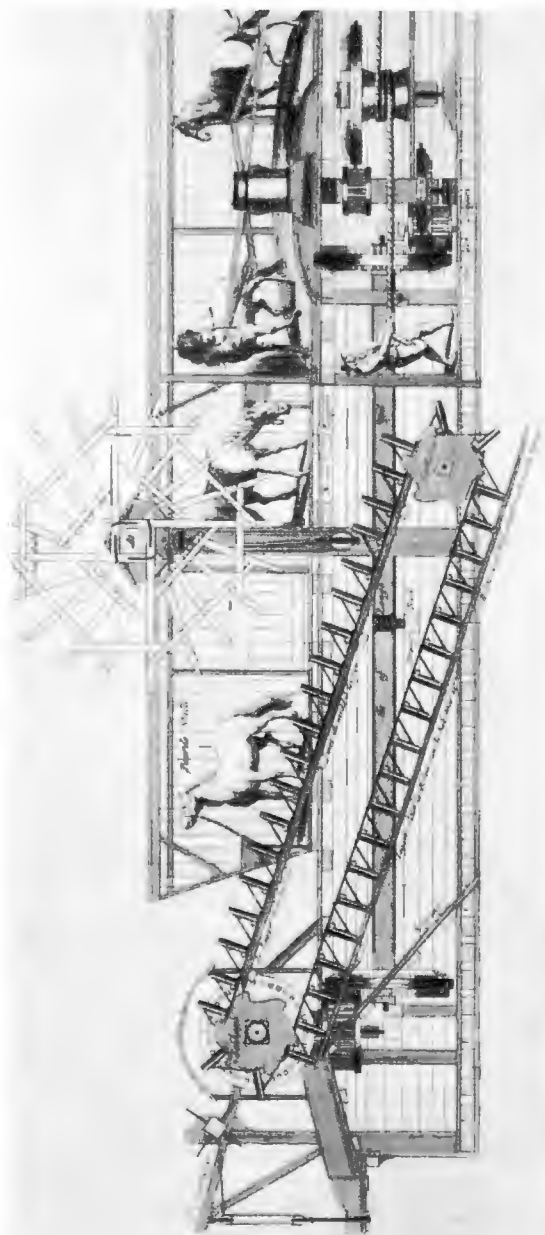
lari servizi, e che controllino l'approvvigionamento dei porti con legname da costruzione e ogni genere di materiali. [147]

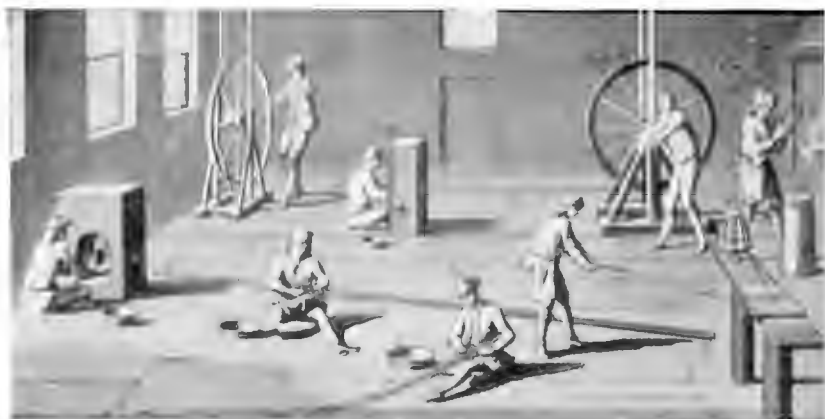
La prima scuola politecnica tedesca, che fu fondata nel 1825 a Karlsruhe, lasciava riconoscere nella sua costituzione una certa ispirazione alla scuola politecnica di Parigi (vedi p. 342).

Non si dimentichi infine quella corrente del pietismo luterano, che in Germania mostrava una spiccata tendenza ad incrementare la formazione scientifica e tecnica dei giovani. Le questioni scientifiche e tecniche erano considerate anzitutto ai fini della religiosità pietistica,[15] ma suscitavano anche un interesse rispondente alle esigenze generali dell'epoca. Nell'ambito di tale spiritualità sorsero la Scuola scientifica di Christoph Semler, ad Halle, nel 1708, e la Scuola scientifica economico-matematica di J. J. Hecker, a Berlino, nel 1747. Il riconoscimento del valore formativo del lavoro portò alla composizione di molte opere didascaliche a carattere fortemente realistico, in cui problemi tecnici e tecnologici venivano trattati con particolare passione. Gli autori erano soprattutto pedagogisti, insegnanti, in prima linea teologi pietisti. Lo studio della natura a gloria di Dio, concezione propria del pietismo, e lo sforzo di unificare il razionalismo con l'empirismo, rendevano queste tendenze in certo qual modo analoghe a quelle del puritanesimo inglese.[16]

Parte sesta

L'età dell'industrializzazione

Tav. XVII. *Erezione dell'obelisco vaticano.* Anno 1586.

Tav. XVIII. *Macchina per sollevamento d'acqua a Marly,* costruita fra il 1681 e il 1685.

Tav. XIX. *Guericke misura la capacità di lavoro della pressione dell'aria.* Anno 1661.

Tav. XX. *Macchina a vapore atmosferica per pompare acqua in un podere* Olanda; anno 1781.

Tav. XXI. *Gualchiera nella manifattura tessile di Oberleutensdorf* (*Boemia*). La gualchiera è la sola parte della manifattura che funzioni sfruttando l'energia idrica. Rame di Turner. Anno 1728.

Tav. XXII. *Mulino-draga di Amsterdam*: draga a nastro convogliatore, azionato da argano a cavalli. Tale macchina fu inventata in Olanda alla fine del XVI secolo; si ha notizia di altri esemplari, azionati ad argano, a partire dall'inizio del XVIII secolo; la presente incisione è del 1734.

Tav. XXIII. *Fusione di minerale di rame a Falun* (*Svezia*). Quadro di P. Hilleström. Anno 1781.

Tav. XXIV. *Manifattura di spilli*: pulitura, raddrizzatura e taglio del filo d'ottone; appuntitura e rifinitura del gambo; preparazione della testa dello spillo; montaggio delle teste sui gambi. Anno 1762.

Introduzione

Il diciannovesimo secolo è stata l'epoca di una rapida industrializzazione. Questo processo venne accompagnato da vari profondi cambiamenti economici e sociali. La macchina a vapore come motrice, numerose macchine operatrici di nuova invenzione, il ferro come materia prima fondamentale, iniziarono la loro marcia trionfale. Latrice del progresso tecnico era la borghesia imbevuta di idee liberali, affermatasi nella rivoluzione francese. Con la industrializzazione scomparvero la vecchia struttura corporativa, e i suoi rapporti patriarcali. Si formò la classe degli operai industriali nullatenenti. Ebbe inizio un movimento sociale.

Mentre in Inghilterra il processo di industrializzazione fu realizzato dalla libera impresa privata, in Germania invece lo stato dovette intervenire nella costruzione di una industria nazionale. Come è stato particolarmente messo in evidenza da Franz Schnabel,[1] l'industrializzatore della Germania pose come questione di primaria importanza quella dell'istruzione. Da un lato si trattava, nel senso piú generale, di elevare il livello culturale del popolo per incrementarne i bisogni materiali e spirituali, e per portare il semplice operaio a comprendere i nuovi sistemi di produzione meccanizzati; d'altro lato si doveva formare una categoria di tecnici in grado di soddisfare le maggiori esigenze tecniche e scientifiche poste dalla industria. Questo grande compito di sviluppo della istruzione richiese l'intervento dello stato. Inoltre si trattò anche di favorire lo sviluppo delle varie iniziative nel campo industriale. Ma era chiaro che si poteva attendere l'intervento della libera iniziativa per il bene dello Stato solo se si riusciva a rendere piú viva la partecipazione del singolo alla vita sociale. Premessa necessaria per lo sviluppo di iniziative industriali in favore dello stato fu quindi una maggiore partecipazione degli imprenditori alle sorti dello stato stesso. Cosicché si venne a creare una stretta interdipendenza tra il processo di industrializzazione e le riforme costituzionali.[2] Una analoga situazione si creò per quanto riguarda l'esercito: anche in questo caso si poteva richiedere la partecipazione del popolo per costituire i nuovi eserciti nazio-

nali in sostituzione delle truppe mercenarie, solo se gli si istillava il rispetto di se stesso, se gli si dava la possibilità di partecipare anche alle decisioni di maggiore importanza, se gli si concedeva una certa autonomia amministrativa.[3]

La macchina a vapore, che caratterizzò l'aspetto esterno dell'età della industrializzazione, si estese anche ai sistemi di trasporto. Le navi a vapore e le ferrovie furono i nuovi mezzi di trasporto senza i quali non sarebbe stato possibile l'enorme aumento della produzione nelle fabbriche. Il telegrafo, basato sulla utilizzazione della corrente galvanica, fu di grande aiuto per vincere il tempo e lo spazio nelle comunicazioni. Il nuovo sistema di illuminazione a gas rese possibile il lavoro nelle fabbriche anche alla sera e durante la notte. "Deve essere bene illuminato il luogo dove un operaio deve riprendere 840 fili," diceva C. Peter Wilhelm Beuth, parlando delle filature di cotone illuminate a gas a Manchester (vedi p. 322). Accanto alla macchina a vapore nell'ultimo terzo del XIX secolo si introdussero macchine motrici di altro tipo, delle quali parleremo in seguito (vedi pp. 368 sgg.).

Il XIX secolo aprí sempre piú la strada alla tecnica basata sulla scienza. Nella prima metà del secolo si avvalsero di metodi tecnico-scientifici specialmente la tecnica delle costruzioni — ci riferiamo qui agli ingegneri francesi — ma anche l'industria della meccanica di precisione e quella dell'ottica — ci riferiamo qui in particolare a Jos von Frauhofer. La costruzione di macchine condotta scientificamente cominciò in Germania solo verso la metà del secolo. In questo campo la Francia era arrivata prima con la sua École polytechnique. Lo sviluppo tecnico del XIX secolo agí anche a sua volta sulla ricerca scientifica. La tecnica forní strumenti alla scienza che le permisero di percorrere strade completamente nuove.

La borghesia del XIX secolo, malgrado alcune opposizioni e malgrado la scottante questione sociale, spinta dal rapido sviluppo della tecnica credeva fermamente ad uno sviluppo ininterrotto della tecnica stessa e della scienza, che avrebbe dovuto continuare, di per sé, all'infinito. Questa fiducia nella forza del progresso rese possibili le piú ardite imprese tecniche.

Insieme col processo di industrializzazione si verificò un fortissimo aumento della popolazione. Tra il 1800 e il 1940 la popolazione dei paesi latini si è raddoppiata mentre quella dei paesi germanici si è triplicata. Spesso si attribuisce l'origine di questo rapido aumento della popolazione al rapido sviluppo della economia, della tecnica, e dell'igiene. Noi saremmo invece propensi a credere, con E. Wagemann,[4] che questi elementi esterni non abbiano avuto un peso decisivo sulle condizioni demografiche. In questo caso devono avere agito piuttosto alcuni fattori interni. Nei paesi slavi, nei quali il progresso tecnico fu assai piú limitato, tra il 1800 e il 1940 la popolazione si è quadruplicata; nell'Asia è aumentata quanto nei paesi di cultura occidentale. Si può quindi dire piuttosto il contrario: e cioè che, almeno in parte, il rapido sviluppo della produzione industriale venne reso

possibile dal rapido aumento della popolazione.

L'individualismo e il liberalismo del primo periodo della industrializzazione lasciarono il passo piú tardi a nuove condizioni che si manifestarono nelle organizzazioni dei lavoratori e, per quanto riguarda gli imprenditori, sotto forma di accordi di vario genere, di sindacati, di cartelli e trust. Con la nascita e lo sviluppo delle società per azioni si introdusse un elemento di democratizzazione del capitalismo.

La diffusione della macchina a vapore

La macchina a vapore di Watt a effetto doppio e con movimento rotatorio (fig. 49) costituí la premessa del rapido sviluppo industriale. Abbiamo già detto che la macchina a vapore venne applicata alla filatura di cotone nel 1787. In Germania tra il 1794 e il 1825 fu soprattutto August Friedrich Wilhelm Holtzhausen a costruire dapprima macchine atmosferiche e poi macchine a vapore tipo Watt a effetto semplice ed infine anche a effetto doppio. Holtzhausen costruiva le sue macchine a Gleitwitz nell'Alta Slesia. Anche la prima macchina a vapore istallata nella Vestfalia proveniva dalla Slesia. Essa indusse l'abile falegname e meccanico Franz Dinnendahl a intraprendere la costruzione di macchine a vapore. Questi, nella sua autobiografia, ci illustra chiaramente le grandi difficoltà incontrate nella costruzione di tali macchine (prima di una di tipo atmosferico e poi di quelle "secondo il nuovo principio" di Watt), e particolarmente nella fabbricazione dei singoli pezzi.

Nell'anno 1801, prima che i territori dell'Essen e Werden venissero uniti al territorio prussiano, io ho costruito la prima macchina a fuoco secondo il vecchio sistema nell'opificio di quella che prima era nominata la bottega Wohlgemuth nel territorio di Werden. Tutto il personale dell'ufficio minerario della Marca e specialmente il signor Crone e gli stessi addetti alle miniere che venivano dal di fuori e che avevano avuto occasione di vedere delle macchine a vapore, dubitavano che io fossi in grado di portare a termine una simile opera. Alcuni giuravano addirittura che sarebbe stata una impresa impossibile e altri profetizzavano la mia fine poiché io, che mi ero affermato come comune artigiano, mi mettevo a fare cose che andavano oltre la sfera delle mie competenze. Certamente era una impresa di grande impegno, particolarmente perché nella zona non esisteva neppure un fabbro che fosse stato in grado di fare una buona vite — senza parlare

di altri lavori necessari per una macchina, come il regolatore, l'asse del cilindro, la caldaia ecc. oppure lavori al tornio o al trapano. Io stesso ero in grado di fare lavori da falegname e da carpentiere; ma si trattava ora di fare lavori da fabbro senza averli mai imparati. Invece riuscii a fare io stesso quasi tutti i lavori da fabbro necessari per l'intera macchina, anche la caldaia; cosicché per un anno, o un anno e mezzo, non feci niente altro che lavori da fabbro e in tal modo colmai la mancanza di operai di questa specialità. Ma nella zona mancavano anche laminatoi ben attrezzati, ed esperti lattonieri, cosicché le piastre per la prima caldaia risultarono quasi tutte non della misura giusta e non resistenti agli sbalzi di temperatura. Del pari risultarono imperfetti i pezzi della macchina che vennero forniti dalla fucina, come il cilindro, i tubi per il vapore, lo stantuffo e il corpo delle pompe ecc. Ma anche questa difficoltà venne superata mediante miei suggerimenti e facendo ricorso alla fonderia del signor Jacoby, proprietario dell'impianto presso Sterkrade nel territorio di Dinslaken sul Wesel, cosicché questa fonderia poté fornire tutti i pezzi necessari per una macchina, dapprima molto imperfetti ma poi col massimo grado di perfezione possibile. La foratura dei cilindri mi creò nuove difficoltà, ma anche in questo caso non mi lasciai spaventare e mi costruii un tornio senza mai averne visto uno.

Cosicché dopo inenarrabili difficoltà, che forse avrebbero potuto indurre altri a desistere dall'impresa, io riuscii a realizzare la prima macchina secondo il vecchio principio...

In questo periodo di tempo sentii dire che si costruivano macchine anche secondo un nuovo principio e precisamente secondo il principio di Watt e Boulton, ma io non avevo avuto occasione di vedere né di leggere alcunché a questo proposito e quindi meditai giorno e notte sul come io avrei potuto venirne a capo. Infine pervenne a mia conoscenza che una macchina di questo tipo sarebbe stata impiantata nella salina di Königsborn presso Unna. Io andai quindi là, guardai la macchina e, dopo averla osservata per appena un'ora, me ne resi talmente padrone da sentirmi in grado di costruirne un'altra simile.

Attraverso la prima macchina che io avevo qui costruito secondo il vecchio principio mi ero conquistata la fiducia del pubblico; questo non sapeva niente, o ben poco, della differenza tra una macchina secondo il vecchio o secondo il nuovo principio. Frattanto, poco dopo la costruzione della prima macchina, dietro raccomandazione della signora von Schirp di Baldeney, io venni invitato a costruire una macchina a vapore per una miniera di piombo situata nel territorio di

Aachen. Io mi recai sul luogo, feci un contratto con la miniera e mi impegnai a costruire una macchina di 32 pollici secondo il vecchio principio per 5000 talleri. Poiché io dovevo costruire a mie spese anche le fondamenta e l'edificio risultò che la somma pattuita era troppo bassa di almeno 3000 talleri, il che mi mise in uno stato di grave preoccupazione soprattutto perché io volevo fare il tentativo di costruire questa macchina secondo il nuovo principio. Io non disponevo di un capitale mio poiché avevo costruito la prima macchina di 20 pollici per 2400 talleri, e quindi anche in questo caso non avevo guadagnato niente. Dubitavo quindi di essere in grado di potere portare a termine la cosa. Ma anche in questo caso il mio coraggio non mi abbandonò, anzi tutte queste circostanze mi furono di incitamento a nuovi sforzi. Io stesso lavorai giorno e notte con i miei garzoni e con un mio fratello fino a che la macchina fu pronta. Per essere sicuro avevo apprestato questa macchina in modo che potesse funzionare sia secondo il vecchio sia secondo il nuovo sistema e quindi, per non perdere subito il credito di cui godevo, cominciai a metterla in moto secondo il vecchio sistema. Essa funzionò ottimamente e fin dal principio ebbe il miglior rendimento. La fiducia nei miei riguardi crebbe di giorno in giorno e, quando questa fu sufficientemente assicurata, ebbi il coraggio di far funzionare la macchina secondo il nuovo sistema. Dunque, chiuso il cilindro in alto, misi in moto le pompe ad aria, disposi i tubi del vapore e feci funzionare la macchina anche secondo il nuovo principio.

Non posso descrivere la gioia che provai quando vidi che la macchina anche in questo modo funzionava ugualmente bene. Tutto questo avvenne negli anni 1803 e 1804 nello stesso periodo di tempo in cui i territori di Essen e Werden divennero prussiani...

Io venni quindi invitato dal benemerito Ufficio Minerario di qui a costruire una macchina di 40 pollici presso Essen sulla cosiddetta Röttgersbank...

Le difficoltà che dovetti superare nella costruzione di questa macchina offrirono materia sufficiente, per vendicarsi contro di me, ai funzionari locali che si erano sentiti messi da parte dal direttore Cappel poiché questi, sia nella costruzione dell'impianto trasportatore, sia in altri numerosi casi, aveva preferito i miei suggerimenti ai loro. In tutti i modi possibili, sia presso l'impresa, sia presso il pubblico, questi funzionari cercarono di mettermi in ombra e di minimizzare la mia opera. Questo avvenne per esempio quando io fui costretto a consegnare in ritardo la macchina che nel contratto mi ero impegnato a

terminare entro 18 mesi. Non venne preso affatto in considerazione il fatto che io dovetti far ripetere per 5 volte la fusione del primo cilindro poiché mai era stato fuso un pezzo cosí grande nella fonderia ed esso risultava ora troppo duro, ora aveva troppi difetti, ora era troppo stretto ed ora troppo largo; cosicché io dovetti comporlo in tre pezzi poiché il forno non poteva contenere tutta la massa di ferro necessaria per l'intero cilindro e, in tal modo e senza alcuna colpa da parte mia, perdetti piú di 11 mesi... [148]

Oltre alla macchina di 40 pollici per pompar l'acqua, Dinnendahl costruí anche una macchina a doppio effetto di 15 pollici (fig. 51). Riportiamo il ricapitolo del preventivo di costo di Dinnendahl per questa macchina (datato Essen, novembre 1807).

	talleri	*soldi*
ghisa	1050	—
pezzi fucinati	339	28
pietre e salario dei muratori	77	30
costruzione in legno	377	17
materiali	157	30
salario del falegname	76	28
montaggio della macchina	320	—
ruota dentata di legno, e rinvio	112	—
spese mie, e lavoro di direzione e sorveglianza	260	—
imprevisti	100	—
	2868	13

Dindahl [149]

In Germania le macchine a vapore vennero dapprima impiegate soprattutto nelle miniere e nelle officine metallurgiche. Come motrici per fabbriche d'altro tipo si diffusero lentamente, in confronto a quanto avveniva in Inghilterra. In Germania la prima macchina motrice venne impiegata nel 1800 presso la Reale Manifattura di porcellane di Berlino. A un dipresso dopo il 1820 si sviluppò un piú intenso impiego della macchina a vapore nelle fabbriche (tav. XXVI).

Sadi Carnot, quando scrisse nel 1824 la sua importante opera su *La forza motrice del fuoco* prese lo spunto dalla macchina a vapore del suo tempo, da quella meravigliosa fonte di energia che cominciava a trasformare tutta la tecnica. Ma, malgrado il successo che avevano le macchine a vapore, mancava una elaborazione teorica di questo "motore generale." Carnot cercò quindi di fissare le condizioni generali secondo le quali si può ottenere lavoro meccanico dal calore. Attraverso il procedimento logico

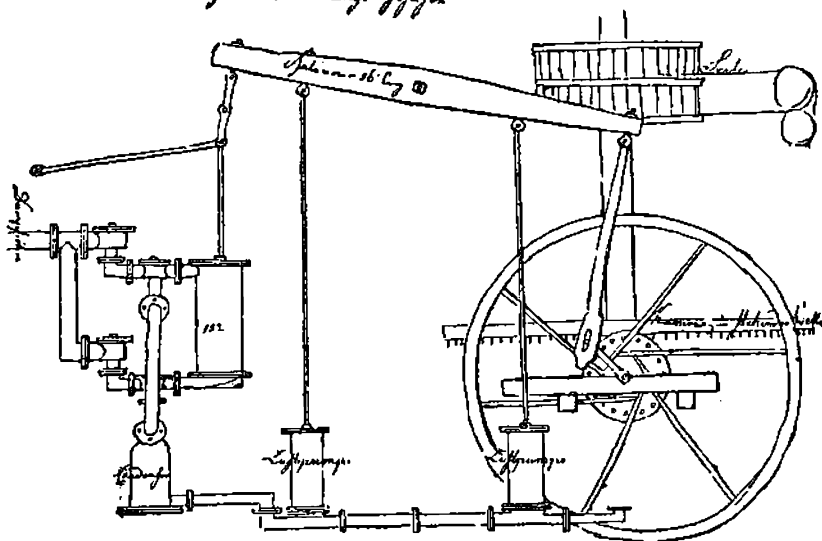



Fig. 51. *Macchina a vapore a doppio effetto di Dinnendhal* per il trasporto di carbone da una miniera di carbon fossile sul Röttgersbank presso Essen. Schizzo del Dinnendahl; anno 1807.

del ciclo irreversibile egli giunse alla definizione del rendimento massimo ideale dipendente esclusivamente dalla quantità di calore fornita e dai livelli di temperatura tra i quali la trasmissione stessa ha luogo, e non dal mezzo di lavoro.

Il ciclo di Carnot come principio generale di ogni macchina termica fu di grande importanza per l'ulteriore sviluppo delle macchine motrici termiche. Lo sviluppo della termodinamica, che si ricollega a Carnot, creò la base per una piú moderna ricerca scientifica nel campo dei motori termici; a partire dal 1860, particolarmente vi si distinse Gustav Zeuner. Riportiamo alcuni brani da *La forza motrice del fuoco.*

Lo studio di questa macchina è di grandissimo interesse poiché la sua importanza è enorme e il suo impiego aumenta di giorno in giorno. Queste macchine sembrano destinate a portare una grande trasformazione nel mondo civile. Già le macchine termiche concorrono allo sfruttamento delle nostre miniere, muovono le nostre navi, rendono piú profondi i nostri porti e i nostri fiumi, fucinano il ferro,

modellano il legno, macinano il grano, filano e tessono le nostre stoffe, trascinano i piú pesanti carichi ecc. Il motore termico diventerà un giorno probabilmente il motore di impiego generale che prenderà il sopravvento sull'impiego della forza animale, delle cadute d'acqua e delle correnti d'aria. Sulla forza animale il motore termico ha il vantaggio di essere piú economico: sulle altre forze esso ha l'incalcolabile vantaggio di essere utilizzabile in ogni momento, dovunque, e di non interrompere mai il suo funzionamento.

Se un giorno il motore termico sarà tanto perfezionato da diventare poco costoso, sia per l'impianto sia per il consumo del combustibile, esso renderà possibile un tale sviluppo dell'industria di cui ora difficilmente possiamo renderci conto.

Infatti non solo le macchine motrici attualmente in uso potranno disporre di una forma di energia ad alta potenza e di facile impiego che può essere fornita dovunque, ma questa stessa energia darà un rapido impulso all'industria, e anzi potrà far sorgere industrie completamente nuove.

Il maggior servizio che la macchina termica ha reso all'Inghilterra è costituito senza dubbio dalla riattivazione delle miniere di carbone, il cui sfruttamento diventava sempre piú stentato minacciando di cessare del tutto a causa delle crescenti difficoltà nell'arginare e nell'evacuare le acque sotterranee. In secondo luogo si deve ricordare i servizi resi all'industria siderurgica: la sostituzione in larga misura della legna che ormai cominciava a far difetto, e la costruzione di motrici di ogni genere il cui impiego è stato facilitato o reso possibile appunto dalla macchina termica.

Il ferro e il fuoco sono com'è noto l'alimento e il sostegno della industria meccanica. Si può dire che in Inghilterra non si trovi una fabbrica che non sia fondata sull'impiego di questi due elementi e che non ne consumi delle grandi quantità. Se oggi si togliessero all'Inghilterra le macchine a vapore essa rimarrebbe priva di carbone e di ferro, si seccherebbero le fonti della sua ricchezza e distruggerebbero tutti i mezzi per il suo sviluppo; ciò significherebbe la distruzione di questa grande Potenza. La distruzione della sua flotta, che essa considera come la sua piú sicura difesa, avrebbe forse per l'Inghilterra effetti meno dannosi.

Si può considerare la veloce e sicura navigazione con navi a vapore come una conquista completamente nuova resa possibile dall'impiego di questa energia. Essa ha già reso possibili comunicazioni rapide e regolari negli stretti di mare e sui grandi fiumi del vecchio e

del nuovo continente e la esplorazione di territori ancora selvaggi nei quali prima si poteva a stento penetrare; essa ha permesso di portare i frutti della civiltà in località che altrimenti avrebbero dovuto attenderli ancora molti anni. La navigazione a vapore avvicina in un certo senso uno all'altro i paesi piú lontani, unisce i popoli della terra, come se essi abitassero nello stesso paese. La diminuzione della durata, delle fatiche e dei pericoli dei viaggi non è equivalente in pratica a un notevole accorciamento delle distanze?...

Malgrado i diversi trattati sulle macchine termiche, malgrado il soddisfacente grado di perfezione al quale si è giunti, dal punto di vista della teoria siamo ancora piuttosto indietro, e i tentativi di progresso in questo campo avvengono quasi per caso...

Il fenomeno della produzione del moto mediante calore non è stato considerato sotto un punto di vista sufficientemente generale: è stato esaminato solo in macchine nelle quali, a causa del loro funzionamento, non può raggiungere i risultati di cui sarebbe capace. In simili macchine il fenomeno appare per cosí dire incompleto e deformato, in modo che risulta difficile riconoscerne l'essenza e studiarne le leggi.

Per poter considerare nella sua generalità il principio della produzione del moto mediante calore, bisogna immaginarselo indipendentemente da qualsiasi meccanismo e da qualsiasi particolare agente; bisogna giungere a conclusioni applicabili non solo alle macchine a vapore, ma a qualsiasi immaginabile macchina termica, qualunque sia il combustibile impiegato e in qualsiasi modo si agisca su di esso. [150]

La macchina a vapore provocò una trasformazione particolarmente profonda nel campo dei trasporti. Robert Fulton costruí nel 1807 il primo battello a vapore praticamente utilizzabile, il Claremont, che fece servizio tra New York e Albany. La distanza di 240 Km. venne percorsa in 32 ore. Già nel 1819 la prima grande nave a vapore, la Savannah, che, d'altra parte, era ancora fornita anche di vele, attraversò l'Atlantico in 29 giorni e mezzo. Dal 1840 in poi la navigazione a vapore ebbe un rapido sviluppo. Vennero fondate grandi società di navigazione, venne introdotto il sistema di propulsione a elica e si diffuse l'impiego del ferro come materiale di costruzione per le navi. Il commercio transoceanico ebbe uno sviluppo inusitato. I continenti si avvicinarono uno all'altro.

Nei primi tempi della navigazione a vapore la fabbrica di macchine Maudslay & Field si distinse per la maggior perfezione delle macchine navali di sua costruzione (fig. 52). In questa fabbrica macchine utensili magistralmente costruite rendevano possibile una finitura dei pezzi, di rara precisione (cfr. p. 306).

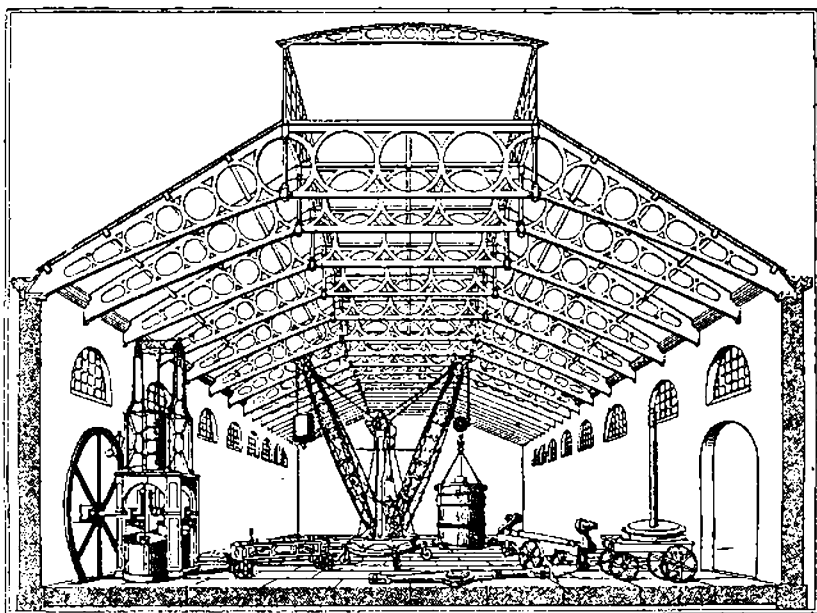



Fig. 52. *Fabbrica di macchine a vapore navali* (di Maudslay, Sons & Field, Londra). Anno 1834.

A fianco della nave a vapore si sviluppò la ferrovia a vapore come nuovo mezzo di trasporto. Essa per prima rese possibile il trasporto di grandi masse di merci, come era richiesto dalla produzione industriale in sviluppo. Già nell'ultimo terzo del XVIII secolo erano in uso nelle miniere inglesi delle rotaie in ferro per carri da trasporto tirati da cavalli. Precedentemente erano state impiegate rotaie in legno, come già nelle miniere tedesche del tardo Medioevo; ma la scarsità di legno e lo sviluppo della industria siderurgica favorirono la introduzione delle rotaie in ferro. La combinazione della rotaia in ferro e del carro mosso a vapore portò alla locomotiva a vapore su rotaia.

Il geniale inglese Richard Trevithick, che già nel 1798 aveva costruito una macchina a vapore ad alta pressione, costruí nel 1803-1804 la prima locomotiva su rotaia del mondo. Ma solo George Stephenson nel 1829 creò una locomotiva a vapore che offriva possibilità di sviluppo. Già nel 1830 egli poté inaugurare (tav. XXV) la prima ferrovia a vapore del mondo per trasporto di passeggeri sulla linea che porta dalla città portuale di Liverpool alla capitale della industria cotoniera, Manchester, con una distanza di 48 chilometri. La costruzione di questa ferrovia presentava notevoli difficoltà: si trattava di costruire 63 ponti e viadotti, di attraversare 5 chilome-

tri e mezzo di palude, di scavare 3 chilometri in trincea e di fare una galleria di 2 chilometri. Come abbiamo già detto, malgrado tutte le difficoltà, le costruzioni ferroviarie si svilupparono in modo straordinariamente rapido. Le linee ferroviarie divennero le arterie del sistema industriale.

In Germania il grande fondatore di industrie Friedrich Harkort fu uno dei primi ad impegnarsi per la costruzione di ferrovie per favorire lo sviluppo delle industrie e del commercio.

Il benessere di un Paese viene notevolmente aumentato dal trasporto rapido ed economico delle merci, che è reso possibile in misura sufficiente da canali, corsi d'acqua navigabili e buone strade.

Per questa ragione lo Stato non dovrebbe considerare i pedaggi come una fonte di finanziamento, ma come mezzo per potere coprire le spese per una ottima manutenzione delle vie d'ogni sorta.

Le ferrovie sembrano offrire vantaggi maggiori dei mezzi di trasporto finora disponibili.

In Inghilterra per questa voce sono già stati destinati piú di 500 milioni di talleri prussiani: è questa una dimostrazione che la opinione pubblica è in larga misura favorevole a queste imprese.

Anche in Germania si comincia almeno a parlare di queste cose e le seguenti considerazioni possono dare un contributo a questo scopo.

Non è mia intenzione di addentrarmi nei particolari della cosa; per il momento sono sufficienti alcuni tratti generali.

La ferrovia occidentale da Londra a Falmouth avrà una lunghezza di 400 miglia inglesi.

Tra Manchester e Liverpool, benché già esista un canale navigabile, è stata proposta una nuova ferrovia di 32 miglia inglesi.

Degli esperimenti che vennero fatti a questo scopo a Killingworth, dimostrarono che una macchina dalla potenza di otto cavalli può muovere in piano un peso di 48 tonnellate alla velocità di 7 miglia all'ora.

Immaginiamo ora una distesa simile a quella da Elberfeld a Düsseldorf; 1000 quintali potrebbero essere portati da una località all'altra in 2 ore e mezza con un consumo di 5 moggi di carbone.

Una macchina dalla potenza di 8 cavalli potrebbe in 3 ore trasportare 1000 moggi di carbone da Steehle al Reno e cioè mettere completamente a secco la Cassa di Navigazione sul Reno.

Tutte le fucine della Ruhr, attraverso la costruzione di una ferrovia, avrebbero il grande vantaggio di un trasporto rapido e regolare e con grande risparmio nelle spese.

In 10 ore 1000 quintali potrebbero essere trasportati da Duisburg

ad Arnheim; i barconi stanno fermi 8 giorni solo per le operazioni di carico.

Si potrebbe forse osservare che solo raramente si può disporre di distese completamente piane. Io faccio notare che certamente, in rapporto all'entità della salita, viene richiesta maggiore forza, o diminuisce la velocità: ma in compenso il viaggio di ritorno è proporzionalmente piú veloce cosicché la velocità media rimane costante.

La massima pendenza del percorso per Killingworth era di 1 piede su 840 in discesa e di 1 piede su 327 in salita.

Le ferrovie porteranno alcune profonde trasformazioni nel commercio. Si uniscano Elberfeld, Colonia e Duisburg con Brema o Emden e si eviteranno le dogane olandesi!

La Compagnia Renana delle Indie Occidentali potrà prendere in considerazione Elberfeld come porto quando un quintale di merci potrà essere trasportato a Brema in 2 giorni mediante una nave al prezzo di 10 soldi d'argento.

A questo prezzo sarà impossibile per gli olandesi assumere il trasporto anche ricorrendo a battelli a vapore.

Con una simile linea di trasporto verso il mare quale magnifico sviluppo potranno avere le attività produttive della Renania e della Vestfalia!

Possa anche per la nostra Patria venire presto il tempo in cui il carro trionfale dell'attività produttiva, tirato da fumanti colossi, si possa fare strada nell'opinione pubblica!

Wetter, marzo 1825. Friedrich Harkort [151]

Un anno dopo il suo primo articolo sulle ferrovie, nel 1826, l'Harkort scrisse una memoria sulle rotaie, e ne inviò copia a diverse personalità influenti; tra gli altri, al barone Friedrich von Stein.

Mentre attiriamo l'attenzione pubblica sulle ferrovie desideriamo rinnovare la vecchia questione se la meccanica, attraverso il grande perfezionamento delle macchine, abbia portato danni o vantaggi alla società.

Per noi è sufficiente ammonire che chi non va avanti, va indietro: tutti devono diffondere e incrementare il progresso, secondo le proprie capacità.

L'attività produttiva non si muove piú nelle ingrate strutture delle corporazioni, ognuno può approfittare di una nuova invenzione, in tutte le attività civili si sviluppa una vita scientifica che prima sarebbe

stato impossibile anche solo immaginare.

Nessuno tema nessuna impresa, per quanto grandiosa quando essa sia ben studiata: l'animo popolare chiama Onnipotente colui che ha fatto i miracoli di questo mondo; senza di lui non esisterebbe in Svezia il Trolhätta-Kanal e Brunel non avrebbe costruito la strada sotterranea sotto il Tamigi.

Rimane fisso il principio che una buona rete di trasporti nell'interno e verso l'estero aumenta il benessere di un Paese.

Per questa ragione l'Olanda e l'Inghilterra hanno costruito una rete di canali, la Francia ha costruito strade sulle Alpi, e centinaia di battelli a vapore solcano le acque dei laghi e dei fiumi della giovane America.

Tra i mezzi principali di un trasporto rapido e economico si devono annoverare ora le ferrovie.

Nell'anno 1680 venne posto in opera il primo tracciato a rotaia presso Newcastle sul Tyne. Fino al 1797 non esisteva neanche un percorso su rotaia verso il Galles del Sud, nel 1811 si contavano già 150 miglia di ferrovie, di cui 30 miglia sottoterra, tanto chiari erano i vantaggi della nuova invenzione.

La Compagnia Caron ricorrendo all'impianto di rotaie ridusse le spese mensili da 1200 a 300 sterline.

I vantaggi sono maggiori o minori soprattutto in dipendenza della efficienza della costruzione.

Da uno studio dei tracciati a rotaia inglesi risulta che sui peggiori un cavallo trascina 87 moggi, mentre, sui migliori, ne trascina 170 con una velocità di 2 miglia inglesi e mezzo all'ora.

Finora le rotaie avevano avuto un impiego limitato alle sole miniere.

Nel 1824 e nel 1825 in Inghilterra si prese la decisione di congiungere mediante tracciati a rotaia località assai piú distanti; diverse Compagnie sottoscrissero a questo scopo piú di 11 milioni di sterline e da questo momento l'attenzione dei migliori meccanici venne diretta con maggiore intensità verso questo campo...

La costruzione di un miglio tedesco di strada ferrata costa in Inghilterra circa 150.000 talleri e quindi non si trovarono nella piú povera Germania i mezzi sufficienti per simili imprese (i tracciati su rotaia delle nostre miniere di carbone sono solo deboli imitazioni delle vere ferrovie inglesi).

Oltre al costo considerevole, altri numerosi ostacoli si frappongono alla diffusione di queste ferrovie.

Il fondamento si abbassa assai facilmente per l'azione del gelo e dello sgelo; la polvere e la neve hanno ugualmente una azione dannosa. Palmer riferisce che un sottile strato di polvere sulle rotaie di Cheltenham ha provocato una resistenza del 19 e mezzo per cento.

Nell'anno 1824 Palmer inventò un tipo di tracciato su rotaia con guida mobile.

L'importanza di questa nuova invenzione indusse le officine meccaniche di Wetter a realizzarne una costruzione, con alcune modifiche, affinché nel nostro Paese ci si possa render conto praticamente delle sue possibilità di impiego...

Il signor Heintzmann, consigliere minerario di Essen, e il signor Honigmann, capominiera di Bochum, che assistettero agli esperimenti e cosí pure successivamente i Signori Direttori del Consorzio minerario Tedesco-Americano, si convinsero delle possibilità di impiego della invenzione, che supera in rendimento tutte le esperienze fatte finora. I vantaggi di questo tracciato su rotaia sono:

1) la economicità. Un miglio tedesco, senza contare l'indennizzo del terreno, verrebbe a costare circa 25.000 talleri. Il numero dei carri dipende dal traffico. Un carro è sufficiente per 40 quintali e verrebbe a costare circa 250 talleri.

2) L'indennizzo per il terreno è insignificante poiché senza rendere piano il terreno si deve solo provvedere ad uno stretto sentiero per il cavallo; i fossi e i piccoli avvallamenti vengono facilmente superati.

3) In tal modo non si deve interrompere alcuna linea di comunicazione già esistente.

4) Le condizioni meteorologiche, la neve e la polvere non esercitano alcuna influenza su simile tipo di costruzione.

In tale modo noi disponiamo di un mezzo per sviluppare in limiti incalcolabili il traffico all'interno del paese, e verso l'estero; nello stesso tempo è possibile diminuire le spese di trasporto del 75 per cento, e di trasportare le merci in un terzo del tempo impiegato sinora.

Per esempio una linea tra Brema-Amburgo e il Reno svilupperebbe straordinariamente il traffico con il Nord, e inoltre costringerebbe l'Olanda ad abolire i dazi di transito.

L'Austria ha già fatto esperimenti con simili linee di comunicazione; l'impianto di una linea su rotaia tra la Moldava e il Danubio avrebbe avuto maggior fortuna se il Cavaliere von Gerstner l'avesse diretta con maggior saggezza. Attualmente il governo ha il progetto di

unire Vienna a Trieste con un tracciato su rotaia.

Nel nostro Paese, Elberfeld potrebbe realizzare per primo un simile progetto.

Le industrie di questa località si basano in parte sul basso prezzo del combustibile; ma i prezzi, malgrado la vicinanza di giacimenti di carbone, sono tremendamente alti a causa delle cattive linee di trasporto.

Se si calcola il consumo del Wuppertal a 4000 moggi di carbone al giorno, si devono spendere circa 600 talleri per spese di trasporto. Un percorso su rotaia ridurrebbe queste spese almeno della metà, le industrie risparmierebbero annualmente 90.000 talleri, l'impianto costerebbe solo 100.000 talleri.

Se il tracciato su rotaia fosse messo in comunicazione con la Ruhr le merci (e una grande quantità di materiali da costruzione) potrebbero essere trasportate nel modo piú economico dal Reno a Elberfeld.

Simili fatti sono troppo evidenti perché si debba ulteriormente illustrarli per farli prendere in considerazione.

Per non rendere complicata la esposizione abbiamo inserito solo le cifre piú necessarie. Gli specialisti possono trarre ulteriori informazioni dalle tabelle allegate.

Rimane ancora da far notare che perfino i canali con una velocità di 5 miglia all'ora risultano lenti rispetto ai tracciati su rotaia (e inoltre la differenza dei costi è di 10 a 2).

Quando si deve procedere ad un impianto si deve tener presente che la cosa principale è un buon lavoro di rilievo; se il tracciato è ben scelto il lavoro di esecuzione vero e proprio risulta facile. La pendenza piú adatta è di un pollice su 10 piedi, secondo le esperienze inglesi.

Qualsiasi cosa nuova, anche se è buona, deve essere discussa! Diversi interessi vengono danneggiati mentre si soddisfa uno scopo superiore: questo è generalmente il destino dei profondi miglioramenti.

Cosí possa questo manoscritto iniziare il suo viaggio! Se esso merita attenzione, possa avere una buona accoglienza e dare cosí un piccolo contributo al bene comune! [152]

Le proposte di Harkort ebbero inizialmente una scarsa eco. Come pioniere della costruzione delle ferrovie in Germania dobbiamo mettere al suo fianco il grande economista Friedrich List. Gli sforzi di List erano diretti alla unità politico-economica della Germania. Già nel 1819 egli metteva in

evidenza che la forza della Germania era inficiata dalla esistenza di 39 sistemi di gabelle e di dogane. List, nel 1825, aveva dovuto emigrare nel Nord America; dopo il suo ritorno dal Nuovo Mondo, nel 1833, uní la sua teoria sulla economia nazionale alla concezione di un sistema ferroviario nazionale; poiché un mercato tedesco unificato richiedeva anche un sistema unico e complessivo per il trasporto e gli scambi, che, oltre a sviluppare l'economia, avrebbe avuto una grande importanza per la diffusione della cultura, per aiutare a superare i particolarismi e per rafforzare le forze spirituali e politiche. Nello scritto *Su un sistema ferroviario sassone come base per un generale sistema ferroviario tedesco* e in altre pubblicazioni List espose chiaramente il suo pensiero. Si deve ai suggerimenti di List la costruzione della linea Lipsia-Dresda (115 Km.) che entrò in funzione nel 1829, quattro anni dopo l'inaugurazione della prima ferrovia tedesca, Norimberga-Fürth (6,1 Km.). La Germania nel 1840 aveva solo 580 Km. di ferrovie, ma nel 1850 essi erano già 5470; nel 1904 la lunghezza delle linee ferroviarie si era decuplicata in confronto al 1850, ed era di 54.430 Km.

Con la macchina a vapore come macchina motrice apparvero anche nuove macchine per diverse lavorazioni; ne venne una rapidissima meccanizzazione e industrializzazione, che definiamo "rivoluzione industriale." Di pari passo con la produzione di macchine motrici e trasformatrici sempre piú efficienti e complicate e in numero sempre maggiore, si costruirono macchine utensili sempre piú precise, particolarmente per la lavorazione dei metalli. Anche in questo campo gli Inglesi svolsero un lavoro da pionieri: abbiamo già visto che la macchina a vapore di Watt non avrebbe potuto essere realizzata senza il tornio per cilindri di John Wilkinson.

Lo sviluppo delle macchine nella prima metà del XIX secolo venne condizionato in buona parte dal perfezionamento del tornio, cioè della principale macchina utensile. Spetta a Henry Maudslay il merito di avere creato intorno al 1800 il moderno tornio con supporto migliorato completamente costruito in ferro, in grado di lavorare con precisione anche pezzi pesanti. Uno scolaro di Maudslay, lo scozzese James Nasmyth, che nel 1839 inventò il maglio a vapore, ci ha lasciato delle note autobiografiche, sul periodo in cui entrò come apprendista nel 1829 nella officina di Maudslay. Raramente un ingegnere è penetrato profondamente come Maudslay nell'esame delle possibilità di un materiale e della sua lavorazione. Nasmyth ne parla con straordinario entusiasmo.

Uno dei detti preferiti di Maudslay era: "Innanzitutto fatti una chiara immagine di quel che vorresti ottenere, poi con ogni probabilità riuscirai anche a realizzarlo." Un altro suo modo di dire era: "Presta molta attenzione al tuo materiale; lìberati di ogni libbra di materiale di cui non hai strettamente bisogno; chiediti a quale compito debbo assolvere il materiale; evita ciò che è inutilmente complicato, rendi tutto il piú semplice possibile..."

Il signor Maudslay insisteva moltissimo sulla grande importanza

delle uniformità delle viti. Alcuni possono parlarne come di un perfezionamento, ma l'idea di Maudslay dovrebbe essere definita quasi una rivoluzione nel campo della tecnica meccanica.

Prima di lui non si seguiva alcun principio sul rapporto tra il numero dei filetti e il diametro di una vite. Ogni albero filettato e ogni madrevite costituivano quindi un fatto a sé stante: tutti i maschi e le corrispondenti femmine dovevano essere marcati in modo particolare come appartenenti esclusivamente l'una all'altro. Qualsiasi scambio potesse aver luogo era causa di disappunto, di perdita di tempo e di inutile scompiglio, soprattutto quando certe parti dovevano essere impiegate come pezzi di ricambio.

Solamente coloro che hanno vissuto in quei tempi relativamente primitivi per le costruzioni meccaniche possono avere una idea sufficientemente chiara del disturbo, della perdita di tempo e delle spese provocate da questa completa mancanza di sistema, e solo loro possono apprezzare i grandi meriti di Maudslay nei riguardi della tecnica meccanica. Egli per primo introdusse i rapporti pratici tra grandezze che si rivelarono necessari per risolvere grandi difficoltà. Infatti nel suo sistema di macchine filettatrici, macchine di stampaggio e, in generale, nelle attrezzature per viti, diede un esempio e forní la base per tutto ciò che da allora è stato creato in questo importante ramo delle costruzioni meccaniche. Coloro che hanno avuto la grande fortuna di lavorare alle sue dipendenze e che si sono resi conto della utilità del suo modo di procedere, lo hanno introdotto nel campo della meccanica.

Il signor Maudslay mi accolse nella sua industria. Col massimo piacere io stavo attento ai suoi saggi insegnamenti. La vista dei suoi eccellenti strumenti, che egli mi mostrava uno dopo l'altro, mi provocava un senso quasi penoso di speranza: speravo di poter essere in grado di esprimere mediante il mio lavoro la mia riconoscenza per un cosí inestimabile privilegio: essere in stretto rapporto con un sí grande maestro di ogni perfezione meccanica pratica!...

Il signor Maudslay provava piacere a mostrarmi il giusto sistema e il metodo adatto per trattare tutti i tipi di materiali che vengono impiegati nella meccanica tecnica: mi spiegava come devono essere trattati in modo da poter ottenere ciò che si vuole, e come col minimo impiego di tempo e di lavoro possano essere ridotti nella forma desiderata. Questa, in realtà, è la vera filosofia del costruire. Se, dopo osservazioni e prove accurate, ci si è fatti una chiara idea dell'oggetto, allora si può conquistare, con relativa facilità e sicurezza, la padronan-

za assoluta sul caparbio materiale e aprirsi una strada diretta per ottenere successo, sia negli affari, sia nella professione.

Sarebbe per tutti senz'altro un piacere trovarsi una volta con il signor Maudslay, seguirlo nel suo cammino sistematico (nel quale egli dapprima comincerebbe col definire il suo lavoro), osservare come egli tratterebbe magistralmente i suoi materiali e come li porterebbe ad assumere la forma desiderata. Ogni colpo di martello, di scalpello o di lima, significherebbe un notevole passo avanti verso il risultato desiderato. Questa sarebbe una indimenticabile lezione di pratica, di un abile lavoro *creativo* nel miglior senso della parola. Esponendo il suo principio, spesse volte ripetuto, che esiste sempre una strada giusta e una sbagliata per fare qualcosa, egli sceglierebbe la strada piú breve e piú diretta per poter realizzare i suoi oggetti. Noi chiamiamo esperienza l'importantissimo risultato della pratica sottoposta ad esame critico: questa è la capacità di vedere, prima ancora di cominciare a lavorare, ciò che si deve o che non si deve fare.

La sua superiore abilità o la sua alta capacità tecnica costituivano in lui, in larga misura, una vera e propria scienza. Ogni pezzo veniva trattato secondo precisi e sicuri principi scientifici, che venivano applicati nell'uso e nel trattamento dei materiali. Questo era quello che rendeva cosí attraente e piacevole il suo modo di operare con gli utensili e con i materiali. Amava questo tipo di lavoro assai piú per se stesso che per i guadagni materiali che gliene derivavano. Nello stesso tempo non trascurava di dimostrare il suo alto apprezzamento per quanto riguardava gli utensili di ottima qualità, la ammirevole amministrazione e la perfetta organizzazione della sua industria.

L'amore per l'esattezza, che distinguevano Maudslay, fece sí che negli artigiani egli apprezzasse in modo particolare quel tipo di abilità tecnica che li metteva in grado di costruire particolari di macchine e di meccanismi richiedenti superfici perfettamente piane (questa era un condizione fondamentale perché essi potessero efficacemente soddisfare gli scopi per i quali erano fabbricati). Talvolta questi lavori erano eseguiti ricorrendo al tornio e al supporto. Nella massima parte dei casi però si raggiungeva lo scopo mediante l'abile uso della lima cosicché allora (come d'altra parte ancor oggi) la lavorazione in piano colla lima costituiva una delle piú alte qualifiche dell'artigiano provetto. Io non ho incontrato nessuno che potesse superare in abilità Henry Maudslay nell'uso della lima. Con pochi colpi da maestro era in grado di creare delle superfici piane che, sottoposte alla prova mediante una superficie di controllo di assoluta precisione,

vennero trovate sempre perfette: non erano né concave né convesse né inclinate.

L'importanza di avere queste superfici di controllo sotto mano lo indusse a lasciarne alcune sui banchi da lavoro nella immediata vicinanza dei lavoratori. Essi erano cosí in grado di controllare subito e comodamente il loro lavoro. Vennero fabbricate tre di queste superfici ricorrendo all'artificio di passarle a turno una sull'altra in modo da eliminare le parti sporgenti. Quando le superfici erano già molto piane le piccole asperità che ancora risultavano vennero tolte via mediante un raschietto in acciaio finché si fu finalmente sicuri della loro esattezza. Se ora si disponeva una di queste superfici su ogni altra era come se esse nuotassero sul sottile strato d'aria compreso tra loro e ciò continuava fino a quando lo strato d'aria non scompariva per pressione o per il passare del tempo. Se aderivano sulla intera superficie potevano essere distaccate solo facendole scivolare una sull'altra. Io credo che il saper creare superfici completamente piane appartenga alle arti meccaniche anche molto antiche. Ma il modo con cui quest'arte venne impiegata dagli uomini di Maudslay li aiutò indubbiamente a migliorare il loro lavoro. Essa venne utilizzata per le superfici delle valvole a saracinesca o in tutti i casi in cui delle superfici assolutamente piane erano essenziali per ottenere i migliori risultati...

L'amore per la precisione faceva sí che Maudslay nutrisse forti dubbi circa i risultati che venivano ottenuti coll'impiego del normale compasso nella determinazione della misura assoluta e relativa di meccanismi di grande precisione che egli volentieri costruiva colle sue mani. Tutto o quasi dipendeva dal *modo* in cui i comuni strumenti di misura venivano impiegati: in sé essi non potevano offrire alcuna garanzia sulla precisione dei risultati. Per sottrarsi a ogni difficoltà Maudslay progettò e costruí uno strumento solido e maneggevole che teneva sempre pronto sul suo banco da lavoro presso la sua morsa: poteva cosí, velocemente e con la massima precisione, ottenere dati di assoluta sicurezza sulla lunghezza, sulla larghezza o sul diametro di qualsiasi oggetto avesse per le mani.

A causa della assoluta precisione delle indicazioni di tale strumento, Maudslay lo considerava come suo giudice d'ultima istanza, e lo chiamava scherzosamente il "Lord Cancelliere" (fig. 53).

Questo "amico del banco di lavoro" era costituito da una base rigida molto grossa, in ottone. Ad una estremità era disposta una piastra d'acciaio completamente temprata, con una superficie perfettamente piana, contro la quale veniva posto un lato o un'estremità del-

Fig. 53. *Micrometro di Maudslay.* Anno 1829.

l'oggetto che si doveva misurare, mentre una superficie perfettamente piana di acciaio parimenti temprato veniva spostata mediante un'opportuna vite a piccolo passo, fino al punto in cui essa veniva in leggero contatto con l'oggetto da misurare... Queste due superfici assolutamente piane, fra le quali veniva posto l'oggetto, consentivano di leggere la loro reciproca distanza in pollici ed in decimi di pollice con tutta facilità su una scala incisa alla base stessa dello strumento, mentre la testa a disco o bottone della vite indicava sul suo orlo i centesimi ed i millesimi di pollice, che si riferivano allo spostamento longitudinale della vite che serviva a variare la distanza esistente fra le due superfici metalliche di questa *morsa di misura*, come penso di poterla definire. [153]

I "piani di riferimento di assoluta esattezza" testimoniano la grande precisione con la quale lavorava Maudslay. Il *metodo dei tre piani* era forse impiegato già durante il Rinascimento, ma con Maudslay ora veniva applicato alla costruzione delle grosse macchine. La grande precisione nella produzione dei pezzi e la conseguente possibilità di riprodurli perfettamente uguali ed intercambiabili — dapprima si trattava di viti — furono conquiste rivoluzionarie di Maudslay.

La materia prima piú importante per le nuove macchine delle numerose fabbriche sorte in quel tempo era il ferro. I grandi progressi della tecnica delle fonderie consentivano di produrlo in quantità sempre maggiore e con caratteristiche sempre migliori. Il metodo del puddellaggio scoperto da Henry Cort nel 1784 consentiva di produrre l'acciaio dolce nei forni a riverbero con l'impiego di carbon fossile. Il carbon coke si fece strada ancor piú come mezzo riducente nel processo all'altoforno. Verso la metà del XIX secolo fu iniziata la produzione dell'acciaio fuso e nel 1856 Henry Bessemer riuscí a produrre l'acciaio nel convertitore, che da lui ebbe nome, adducendo semplicemente una corrente d'aria nella ghisa fusa. Il ferro, elemento fondamentale dell'industria, era disponibile in grandi quantità.

Nel 1832 il matematico e meccanico Charles Babbage fece sentire la

sua voce a favore dell'industrializzazione con ampia suddivisione del lavoro ed estesa meccanizzazione.

Lo scopo della presente opera è di individuare gli effetti ed i vantaggi che derivano dall'uso degli attrezzi e delle macchine; di classificare in diverse categorie i loro differenti modi d'impiego; infine, di studiare come sia avvenuta l'introduzione delle macchine che possono sostituire l'abilità e la forza dell'uomo, e quali conseguenze abbia avuto questa sostituzione...

La ripartizione del lavoro fra le persone impiegate in una fabbrica è forse l'elemento piú importante sul quale riposa il funzionamento della fabbrica stessa...

Nessuno porrà in discussione l'affermazione che il tempo necessario per apprendere un mestiere qualsiasi dipende dalla difficoltà che lo stesso lavoro presenta, e che l'apprendista ha bisogno, per imparare, di tanto piú tempo quanto piú numerosi sono i diversi processi dell'attività da svolgere. In molti mestieri è necessario un tempo di cinque o anche sette anni prima che l'apprendista abbia compreso abbastanza il suo lavoro per poter ricompensare il maestro, nell'ultimo periodo del suo apprendistato, delle spese che gli ha cagionato. Se però egli, anziché apprendere, ad esempio, *tutti* i processi relativi alla fabbricazione degli aghi, si limiterà ad *un* processo, il periodo "sterile" del suo apprendistato sarà assai breve, e tutto il tempo restante sarà fruttuoso per il maestro...

Ogni apprendista impiega senza alcun utile, oppure rovina, una certa quantità di materiale; quando egli passa ad un altro processo, la cosa si ripete con la materia prima o con l'articolo già elaborato. Ora, però, la perdita sarà assai maggiore se ciascuno dovrà imparare tutti i processi l'uno dopo l'altro, che non se ciascuno ne dovrà apprendere uno soltanto; anche per questo motivo la ripartizione delle lavorazioni contribuisce alla riduzione dei prezzi.

Un altro vantaggio che deriva dalla suddivisione del lavoro è il risparmio di tempo: poiché in ogni passaggio da una lavorazione ad un'altra un certo tempo va perduto. Quando la mano e la testa si sono abituate per un certo tempo ad una determinata specie di lavoro, se questa cambia, mano e testa non possono assumere subito la stessa destrezza che avevano raggiunto prima...

L'uso di attrezzi diversi in ciascuna lavorazione causa pure una perdita di tempo nel passare da un lavoro ad un altro. Naturalmente la perdita di tempo è limitata quando gli attrezzi sono semplici e i

cambiamenti non sono molti; ma per molti processi delle arti gli attrezzi sono assai delicati e richiedono dopo ogni impiego di essere rimessi a posto con la massima precisione, e spesso ciò richiede quasi altrettanto tempo quanto l'impiego stesso degli attrezzi...

Con la continua ripetizione di *una stessa* lavorazione invece il lavoratore deve necessariamente acquisire un grado di destrezza e di rapidità che non potrà essere raggiunto da colui che si occupa di *diversi* processi. Il fatto che la maggior parte dei lavori, nelle fabbriche in cui la ripartizione dei compiti si spinge piú nel dettaglio, vengano pagati a cottimo, aumenta ancora la rapidità del lavoro...

Quando ciascuno dei processi necessari per il compimento di un determinato articolo costituisce l'unica occupazione di una persona, è assai piú probabile che la sua attenzione, non distratta da altro, possa portare ad un miglioramento dei suoi attrezzi o ad un uso piú conveniente degli stessi, assai piú di quanto si verifica quando una quantità di occupazioni distraggono la sua attenzione. Un simile miglioramente degli attrezzi costituisce però usualmente il primo passo verso la realizzazione di una macchina...

Quando si è ottenuto di poter eseguire ogni singolo processo con un semplice attrezzo, la macchina consisterà di una composizione di *tutti* questi attrezzi, azionati da una ed una sola forza. Il singolo operaio ottiene spesso il pieno successo nell'invenzione di attrezzi e nella semplificazione del lavoro manuale; il riunire in un'unica macchina questi singoli miglioramenti implica invece l'intervento di uno spirito di grado piú elevato...

Ora, questi sono i vantaggi che normalmente si sogliono attribuire alla suddivisione del lavoro... Tutte queste cause sono però importanti, e ciascuna porta il suo contributo al risultato finale; mi sembra peraltro che l'economia realizzabile nella produzione delle merci grazie alla suddivisione del lavoro non possa essere interamente messa in evidenza se non si considera anche il fatto seguente.

Quando il lavoro sia stato suddiviso in parecchi processi, ciascuno dei quali richiede un diverso grado di destrezza e di forza, il capo della fabbrica è in grado di sfruttare ciascuna delle due facoltà, quanto lo richiede ogni processo; quando invece un solo operaio deve compiere l'intero lavoro, egli dovrebbe possedere tanta capacità da essere all'altezza, da un lato dei compiti piú faticosi, e dall'altro di quelli piú difficili che i vari processi richiedono...

Quando si siano determinati, in base alle particolari caratteristiche della produzione di una manifattura, *il numero dei processi* nei quali

con maggior vantaggio essa può essere suddivisa, *ed il numero delle persone* da adibirvi, quelle fabbriche in cui il secondo numero non è un multiplo diretto del primo produrranno quel determinato articolo con spese maggiori. Questo principio generale deve sempre essere tenuto presente nei grandi stabilimenti, quantunque sia quasi impossibile applicarlo strettamente anche con la miglior suddivisione del lavoro...

Abbiamo visto che la suddivisione del lavoro si presti per produrre merci piú a buon mercato; essa in tal guisa farà aumentare la richiesta, ed a poco a poco attraverso la concorrenza o la speranza di maggiori guadagni permetterà d'investire grandi capitali in ampie fabbriche. Esaminiamo ora l'influenza di questo aumento del capitale in un solo aspetto. Dapprima sarà cosí possibile realizzare fino alle piú estreme conseguenze il principio importantissimo sul quale si basano i vantaggi della suddivisione del lavoro; in quanto non solo per l'esecuzione di ogni processo, ma anche per ciascuna fase, dalla materia prima al prodotto finito che perviene nelle mani del consumatore, potrà essere acquisito e impiegato un giusto grado di abilità. La quantità di merce prodotta da un determinato numero di persone aumenta considerevolmente con l'estendersi di questo principio, e da ciò consegue naturalmente una proporzionale diminuzione di prezzo del prodotto. [154]

"L'unione del vapore e del cotone," come allora si diceva, portò alla costruzione di quelle gigantesche fabbriche tessili che costituivano il tratto caratteristico particolarmente della città di Manchester (tav. XXVII, fig. 54). Edward Baines rappresentò vividamente nel 1835 quella che era l'industria del cotone inglese dell'epoca, scagliandosi con ira contro coloro che deprecavano l'estendersi della meccanizzazione.

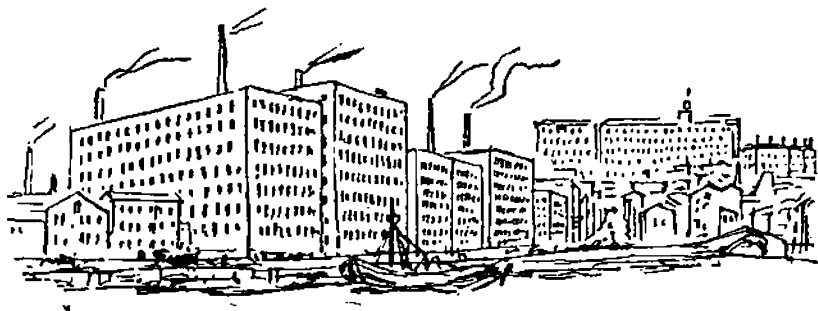



Fig. 54. *Fabbriche di Manchester*. Schizzo di K. E. Schinkel; anno 1826.

La filatura a macchina aperse un vasto campo d'azione nell'industria, in quanto stava ora a disposizione di questa tanto filato, e di tale qualità, quanto e quale si poteva desiderare. Non si parlava ormai piú di orditi di lino, poiché quelli di cotone erano piú economici; si potevano fare il callico, la mussolina e tutti i tipi di tessuti delle Indie orientali, in quanto la macchina forniva il filato adatto per tutti; i cassetti di distribuzione delle navette potevano lavorare in continuità, poiché v'era abbondanza di filo.

Di portata ancora maggiore era però forse il nuovo sistema di fabbricazione ritrovato dall'Arkwright. Una filanda meccanica non divenne soltanto — a causa della quantità e diversità delle macchine, della loro produttività e del motore primo che l'azionava — un grosso stabilimento industriale, ma addirittura un organismo vero e proprio. La tendenza dei proprietari di filande meccaniche non era solo quella di realizzare una completa suddivisione del lavoro ed una sua opportuna distribuzione agli operai, ma addirittura di scomporre il processo della filatura nei suoi singoli elementi, in modo che le singole operazioni potessero venir sempre piú compiute automaticamente mediante macchine messe in moto da una forza motrice comune esterna ad esse, cosicché agli uomini non restava in definitiva altro che la direzione del lavoro; e questo sistema organico doveva offrire una tale quantità di vantaggi da essere successivamente accettato in tutti i campi dell'industria in cui era possibile farlo... [155]

Una filanda di cotone offre un notevole esempio di come le maggiori forze consentissero anche di svolgere una enorme quantità di lavori singolarmente assai leggeri. Una macchina a vapore di cento cavalli, che presenta quindi una forza pari a quella di 880 uomini, la si può veder spesso azionare in un edificio anche 50.000 fusi, oltre alle macchine ausiliarie. L'intero complesso era servito da 750 operai. Queste macchine però, con l'ausilio di quel potente mezzo, potevano produrre tanto filo, quanto un tempo ne avrebbero potuto a malapena filare 200.000 uomini, sicché un uomo può ora compiere lo stesso lavoro di 266! Ciascun fuso fornisce in una giornata da due matasse e mezza a tre, di filo, e tutti i 50.000 fusi forniscono dunque in 12 ore un filo di 62.000 miglia inglesi, ovvero un filo che potrebbe esser posto 2 volte e mezzo intorno alla sfera terrestre!... [156]

Quando salí al potere Giorgio III [nel 1760], l'industria del cotone occupava poco piú di 40.000 uomini; e adesso (dopo che si sono trovate macchine con le quali un operaio può produrre tanto filo quanto ne producevano una volta 200 o 300 operai, e uno può stam-

pare tanta stoffa quanta se ne poteva stampare una volta in 100), trovano il loro pane in questa attività circa 1.500.000 persone, ovvero 37 volte tanto. E tuttavia ci sono ancora molti, scienziati e anche membri del Parlamento, che sollevano patetici lamenti sull'aumento e la diffusione della meccanizzazione. Si dovrebbe credere che la storia della fabbricazione del cotone avesse alla fine posto a tacere tutte queste geremiadi, o che si dovesse sentirle ancora, a volte, da singole categorie di lavoratori, ai quali, malgrado tutto, tali trasformazioni avessero portato, inizialmente e transitoriamente, almeno, alcuni svantaggi. Ci sono in realtà persone che quando sentono che 150.000 uomini possono ora produrre nelle nostre filande tanto filo quanto ne potrebbero fare a malapena 40.000.000 con la ruota a mano, tengono ciò in conto di grave sciagura. Queste persone sembrano nutrire l'insulsa idea che, se simili macchine non esistessero, tale industria darebbe effettivamente lavoro ad un tal numero di persone, e non pensano che tutta l'Europa non basterebbe per questo lavoro, e che in un simile caso la quinta parte di tutti i suoi abitanti dovrebbe occuparsi esclusivamente della filatura a mano! L'esperienza e la riflessione insegnano invece proprio l'opposto: e dobbiamo con certezza affermare che, se si dovesse ancor oggi filare a mano, l'industria del cotone occuperebbe persone in numero cinque volte minore di allora. Il fatto che un filatore possa oggi produrre in un giorno tanto filo quanto se ne produceva una volta in un anno, il fatto che si possa oggi imbiancare in un paio di giorni tanti panni quanti se ne imbiancavano una volta in sei o otto mesi — queste sono le ragioni per cui questa industria occupa oggi piú persone! e fornisce piú lavoro e piú pane che non nei tempi passati! e quindi non dobbiamo lamentarci di questi risultati, ma dobbiamo altamente gioirne!... [157]

Manifestamente dunque la macchina a vapore è una vera e propria serva o aiutante degli operai; impedisce che vengano sottoposti a sforzi troppo pesanti e sottrae loro, mediante le altre macchine che essa pone in movimento, tutte quelle operazioni che richiedono la massima esattezza, una continua fatica e molta forza; cosí gli operai possono limitarsi a fornire il materiale alle macchine, a sorvegliare il loro funzionamento, a regolarle, a correggerne gli eventuali errori... [158]

L'ascesa della nostra industria cotoniera si verificò in un momento critico, poiché poco prima l'Inghilterra aveva perduto le sue colonie americane. Una ricca contropartita per questa perdita ci fu tuttavia assicurata proprio da questo nuovo campo aperto alla nostra industria, per cui lo spirito inventivo dei nostri meccanici provvide a

sanare la disgrazia che statisti poco avveduti ci avevano procacciato. E poiché, subito dopo, la rivoluzione francese ci trasse in un groviglio di lunghe e pericolose lotte, che fummo in grado di sostenere solo grazie alla forza dei nostri commerci, fu ancora una volta questo nuovo ramo di affari che forní l'attività di gran lunga maggiore al nostro commercio. Ben si può dire pertanto che nelle vittorie dell'Inghilterra abbiano avuto assai piú parte Watt e Arkwright che non Nelson e Wellington, poiché dobbiamo alle loro scoperte il fatto di non aver dovuto soccombere a tanti e cosí sfibranti sforzi. [159]

Pieno di patetiche lodi per la nuova industria fu il chimico e tecnologo Andrew Ure. Egli vedeva nell'introduzione della macchina, che sollevava l'operaio dal lavoro pesante e deprimente, una vera e propria azione umanitaria. Può darsi che alcune delle fabbriche offrissero condizioni di lavoro in parte migliori di quelle delle antiche manifatture; ma egli passava il limite nelle sue lodi della meccanizzazione e dell'industrialismo: poiché i lavoratori lamentavano ancora, malgrado tutto, la lunga giornata lavorativa, le paghe cattive e lo sfruttamento delle donne e dei bambini. Parleremo ancora di ciò, piú avanti. A ragione invece rilevava Ure come, al contrario delle antiche manifatture, le nuove fabbriche badassero poco ad adattare le singole parti del lavoro alla particolare abilità degli individui, e tendessero piuttosto ad affidare ad un meccanismo l'esecuzione di tutti quei lavori che richiedevano particolare destrezza. Nelle grandi macchine, formate da molti meccanismi, le singole parti del lavoro venivano quindi a ricomporsi. Riportiamo alcuni passi dalla *Philosophy of manufactures* di Ure del 1835.

Le benedizioni apportate alla società dalle scienze fisico-meccaniche e dai mezzi ad essa forniti per migliorare lo stato dell'umanità, non sono state finora degnamente valutate, e d'altro canto ad esse si fa colpa del fatto che i ricchi capitalisti se ne siano fatti un mezzo per opprimere i poveri e per costringere il lavoratore ad un lavoro piú veloce. È stato detto ad esempio che la macchina a vapore aziona i telai meccanici con una tale rapidità che anche l'operaio ad essi addetto deve procedere assai piú velocemente, mentre colui che tesse a mano, non vincolato da una tale incessante spinta, può lanciare le sue navette con molto maggior comodo... In entrambi questi casi non si deve però trascurare questa differenza: nella fabbrica ciascuna parte del telaio è realizzata in modo che la forza motrice non lascia quasi niente da fare all'operaio ad esso adibito, niente per lo meno di quanto possa richiedere uno sforzo fisico, mentre egli si guadagna nel contempo un buon salario sicuro ed inoltre gode un posto di lavoro sano

— laddove il tessitore a mano, che deve fare tutto con lo sforzo dei suoi muscoli, trova faticoso il suo lavoro, e deve far quindi innumerevoli brevi pause, singolarmente di poco conto, ma assai importanti nel loro complesso: guadagna quindi un salario proporzionalmente piú basso e perde la sua buona salute con il cattivo nutrimento e la umidità del cattivo luogo di lavoro... [160]

La meta costante e la continua azione dei perfezionamenti scientifici nelle fabbriche hanno carattere filantropico, in quanto essi tendono a risparmiare ai lavoratori di doversi occupare di tante piccole cose che deprimono lo spirito e stancano l'occhio, o di doversi applicare a sforzi prolungati, che indeboliscono o storpiano il corpo...

Nelle sale spaziose la benefica forza del vapore raduna intorno a sé le schiere dei suoi servi ed indica a ciascuno il lavoro da compiere, sostituisce al doloroso sforzo dei muscoli la potenza del suo braccio gigantesco, e richiede quindi solo attenzione ed applicazione, per correggere i piccoli errori che di tanto in tanto si verificano nel lavoro. La perfetta docilità di questa forza motrice la rende adatta ad azionare i minuscoli rocchetti delle macchine con una velocità ed una precisione che la piú abile delle mani, guidata dal piú acuto degli occhi, non potrebbe neppure imitare... Questo è il sistema industriale, pieno di prodigi di meccanica e di economia di Stato, che con il suo ulteriore sviluppo promette di diventare il maggior fattore apportatore di civiltà, e di porre in grado l'Inghilterra di far pervenire con i suoi commerci la linfa vitale della scienza e della religione a miriadi di popoli che vivono ancora nelle tenebre. Quando Adam Smith scrisse la sua opera imperitura, le macchine automatiche erano appena conosciute, e da ciò egli fu sviato a ritenere che la suddivisione del lavoro fosse l'elemento principale per il miglioramento delle manifatture. Egli mostrò con l'esempio della fabbricazione degli spilli come ciascun operaio, una volta che fosse posto nella condizione di perfezionarsi in un lavoro particolare mediante il continuo esercizio, potesse diventare assai piú destro e veloce... Ma ciò che nell'epoca del dottor Smith era un punto che poteva essere vantaggiosamente chiarito, non può risultare vantaggioso ora, se non si vuole trarre in inganno il pubblico circa le giuste caratteristiche dell'industria manufatturiera. In realtà nelle industrie si pensa poco alla ripartizione ed ancor meno all'adattamento del lavoro alle singole capacità degli individui. Al contrario, quando un qualche processo richiede particolare abilità e prontezza di mano, esso viene appena possibile sottratto all'operaio, che è soggetto ad irregolarità di ogni specie, ed affidato ad

un opportuno meccanismo, che può essere sorvegliato anche da un bambino... [161]

È alta meta dei nuovi capi manifatturieri limitare il compito dei propri lavoratori, mediante l'unione dei capitali e della scienza, alla attenzione ed alla sorveglianza, dacché tali qualità possono essere facilmente portate a perfezione nelle persone giovani e nei ragazzi. Agli albori dell'arte della macchina, si poteva veder applicata nelle fabbriche la suddivisione del lavoro nei suoi vari stadi; la lima, il trapano, il tornio, ogni strumento aveva il suo operaio particolare, ordinato secondo l'abilità. Adesso, le abili mani del limatore e del trapanista sono sostituite dalla piallatrice, dalla filettatrice e dai trapani meccanici, oppure dal solo tornio... [162]

La macchina a vapore costituisce il controllore generale e la molla principale dell'industria britannica, che la fa continuamente progredire e non tollera ritardi o indugi, fino a quando il lavoro previsto non sia stato compiuto.

Abbiamo già detto che il lavoro in una fabbrica dotata di una forza motrice non è continuo, anche perché esso viene compiuto sempre con l'immancabile amica dell'operaio, la macchina a vapore. È stato dimostrato che in una fabbrica le occupazioni piú dure e piú faticose sono quelle che non sono effettuate con l'aiuto della forza motrice, cosí che il mezzo per dare maggior agio all'operaio è quello di dotarlo di una macchina a vapore. Si confronti il lavoro di un tornitore che disponga di una di quelle macchine automatiche cosí comuni ora a Manchester, oppure di una di quelle azionate da una puleggia, come si fa a Londra, nelle quali l'utensile da taglio viene tenuto in mano e viene solo *guidato* con la forza del braccio e l'abilità delle dita. Nel primo caso, una volta che il meccanismo sia stato regolato, il lavoratore non ha nient'altro da fare che osservare e meditare sui criteri del suo operare, poiché la macchina compie magistralmente il suo lavoro e quindi si ferma, in quanto essa interrompe da sé il suo moto. In base ai dettagli sopra riportati tutti possono giudicare le menzogne e anche le assurdità di quanto vien comunemente detto sulle fabbriche. [163]

Il problema della civiltà nella tecnica

La rivoluzione industriale, uno dei maggiori processi di trasformazione che la storia ricordi, ebbe vastissimi riflessi politici, sociali e psicologici. Non pochi dei capi del movimento industriale, ai suoi inizi, avevano una chiara visione dei problemi civili sollevati dalla tecnicizzazione. Essi tendevano a collegare lo sviluppo della tecnica non solamente con lo spirito scientifico e con la cultura generale, ma anche con un aperto riconoscimento delle condizioni sociali.

L'industriale svizzero Johann Conrad Fischer, che nella prima metà del secolo ebbe a visitare piú volte l'Inghilterra, vide il grande progresso tecnico di questo paese, ma riconobbe anche le istanze sociali derivanti da tale rapida industrializzazione. Fischer, tecnico instancabile e fortunato, scrisse nel 1825 a Londra, nel suo diario, che la sua epoca aveva progredito molto nella *fisica,* (prendendo questa parola nel suo significato piú ampio e generale) ma non ugualmente nella *metafisica.* Riportiamo alcuni passi del diario di Fischer, del 1825, del 1845 e del 1851.

Ancora la mia strada mi portò in Picadilly nella Esposizione del Messico antico e moderno, e quindi in Leicester Square, dov'era una riproduzione del monumento funebre egiziano scoperto dal Belzoni. Sostai a lungo in queste pseudo-sale della morte...

Ero solo; non avevo alcuna guida con me che mi desse maggiori schiarimenti. Il trascorrer del tempo mi obbligò a separarmi da un luogo che mi attraeva indescrivibilmente, quando mi venne fatto di pensare come noi ora non si conosca molto di piú, dopo tremila anni di esperienze, che è un'eternità in confronto alla nostra breve vita! Nella fisica siamo progrediti, ma non nella metafisica; le eterne leggi, alle quali anche gli spiriti creati devono soggiacere, volgono immutabili...

Ero stanco di guardare, e quasi malvolentieri me ne andai. Forse

che noi dobbiamo sempre essere, pensai fra me, soltanto gli imitatori? È proprio impossibile che non si possa far qualcosa di nostro che sia eccellente e ottimo nell'industria, e particolarmente nella siderurgia, alla quale secondo le mie idee ed esperienze pur spetta ancora una grande e vantaggiosa trasformazione? Non si riuscirà mai a diventare forti con l'unione, non si sposerà mai la ricchezza con l'esperienza e la scienza? Cosa sono l'acqua e la polvere? Due sostanze che non si tengono insieme, facilmente scomponibili in particelle. Ma forse che la porcellana non sfida i secoli, e non viene pagata, nella sua massima perfezione, a peso d'oro? Abbiamo in un certo senso la chiave per sciogliere e per legare la composizione dei corpi; ma dobbiamo portarla sempre solo in riferimento al piú comune e tuttavia al piú nobile di tutti i metalli? Esiste il ferro a 24 carati, cosí come esiste l'oro!... [164]

Quando 52 anni fa [nel 1794] visitai per la prima volta l'Inghilterra, ed ebbi occasione di trovar lavoro presso un meccanico a Londra, Mister Rhé, in Shoe Lane Fleet Street — e con il lavoro il modo di fare dei confronti — e vidi a quale grado di perfezione fosse giunto questo ramo dell'industria rispetto a quello che poteva mostrare il continente — confesso che il mio giudizio fu interamente a favore dell'Inghilterra. Quasi nessun prodotto di questo o di altri campi aveva a che temere dall'estero: in quel paese il sistema di privativa delle invenzioni, con la sua azione stimolante e protettiva, aveva profondamente operato, contribuendo a dare ai prodotti un altissimo grado di perfezione, e insieme di solidità e di funzionalità.

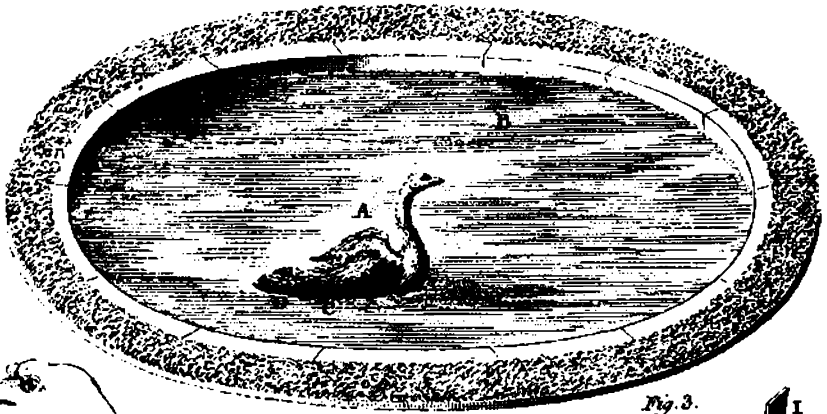
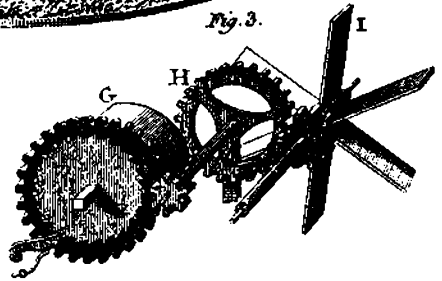
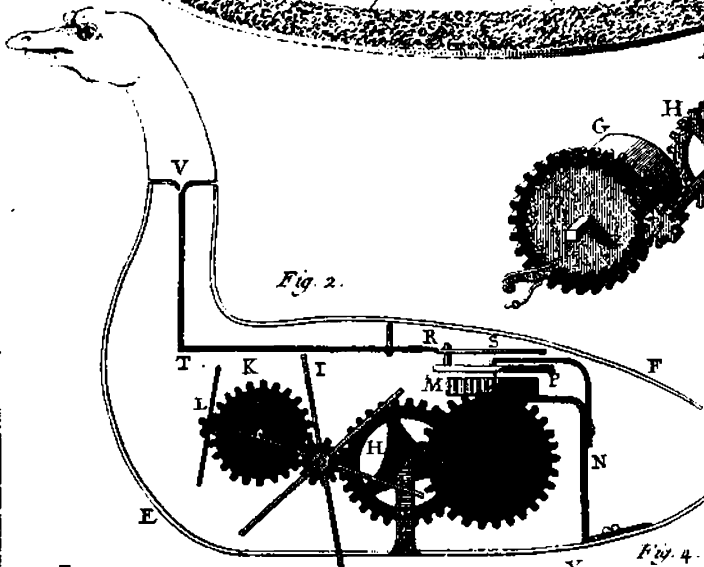
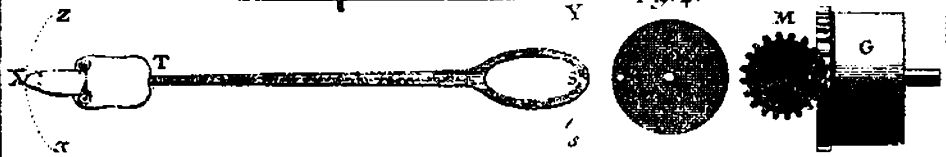
Non vi erano però, per quanto potei vedere, molte cose nuove, a parte le macchine a vapore, delle quali sul continente non si sapeva ancora niente a quell'epoca; le stesse cose si potevano trovare anche in altri luoghi, non però cosí buone.

Vent'anni piú tardi, quando visitai di nuovo l'Inghilterra subito dopo l'abolizione del blocco continentale, trovai molte grosse novità nel campo sopra detto. Le filande, le fonderie, le industrie ceramiche (nelle quali Wedgwood appariva come *primus inter pares* se non come *princeps*) le fabbriche di acciaio e di lime, i lavori laminati di Birmingham e Sheffeld, i filati ed i tessuti di Manchester e le manifatture di panni di Leeds avevano acquistato un carattere di grandezza e perfezione del quale non ci si può fare un'idea senza un'osservazione personale.

Dodici o tredici anni piú tardi, quando le mie simpatie ed i miei interessi mi trassero nuovamente in questo paese, la misura di tutto,

Cygne artificiel.

Dheulland Sculp.

N°. 400.

ed anche l'estensione di Londra, aveva subíto un nuovo aumento...

La navigazione a vapore già cosí diffusa, la generale introduzione dell'illuminazione a gas, il cannone a vapore di Perkins e la costruzione del tunnel di Brunel, opera gigantesca tanto da apparire impossibile e purtuttavia realizzata, e molte altre cose interessanti continuavano a costituire per me un quadro estremamente attraente. [165]

Ciò che impressiona in Inghilterra, sono le associazioni operaie, anche se in parte ancora occulte. Bisogna essere stati nelle città industriali inglesi ed aver visitato queste classi della società nelle loro basse, oscure abitazioni, e quindi valutare l'enorme distanza che presenta all'occhio il lusso di una parte relativamente molto ristretta della popolazione, per giungere alla conclusione che nulla al mondo è senza motivo, e che i fenomeni sopraddetti, in un'epoca che diverrà probabilmente ancora piú oscura, o che perlomeno durerà ancora alquanto tempo, non sono altro che gli effetti di cause profonde e già da tempo operanti. [166]

Durante un viaggio in Inghilterra, intrapreso nel 1826 con Peter Wilhelm Beuth, benemerito animatore dell'insegnamento tecnico e promotore delle industrie in Prussia, l'architetto Karl Friedrich Schinkel fu profondamente impressionato dai giganteschi edifici delle fabbriche delle città industriali inglesi, che gli offrivano uno spettacolo imponente ma anche triste. Egli fu anche testimone della sollevazione dei lavoratori tessili a Manchester contro i salari troppo bassi. Schinkel scriveva allora nel suo diario:

Domenica 18 giugno, a Birmingham

Com'è triste la visione di una simile città industriale inglese! Non ci si presentava nulla che potesse rallegrare l'occhio, e la calma domenicale in un luogo di solito cosí attivo, sempre in movimento e con i suoi piú che centomila abitanti, aveva qualcosa di orrendo.

Giovedí 20 giugno, a Dudley

La regione è gradevole; in lontananza si vedevano fumare le famose acciaierie, che si estendono per miglia e miglia. Le migliaia di obelischi fumanti offrivano una visione grandiosa. Per la maggior parte si tratta di macchine di sollevamento, per estrarre il carbon fossile, il ferro ed il calcare dalle miniere. Soltanto i cilindri delle macchine a vapore sono chiusi nei fabbricati, mentre il braccio con la manovella ed il volano, come pure le caldaie, sempre in numero di due per ciascuna macchina, si trovano all'aperto.

Lunedí 17 luglio, a Manchester

Gli edifici sono alti da sette a otto piani, e lunghi e profondi quanto il castello di Berlino; sono tutti muniti di volte incombustibili; un canale pieno d'acqua scorre accanto ad essi, un altro dentro ad essi. Le strade della città conducono attraverso questi blocchi di edifici, e passaggi di collegamento s'intrecciano al di sopra di esse. Tutta Manchester è uguale; sono le filande per il tipo piú sottile di cotone. Non meno giganteschi i laminatoi...

L'intera industria della città si trovava a quel tempo in una grave crisi. Seicento operai irlandesi erano appena stati rimpatriati a spese della città per mancanza di lavoro, e 12.000 operai si erano radunati per organizzare una sollevazione, poiché molti di essi, pur lavorando 16 ore al giorno, potevano guadagnare soltanto due scellini per settimana. Società che costavano 500.000 lire sterline, avevano ora il valore di sole 5.000 lire sterline. Si tratta di una condizione spaventosa. Dall'epoca della guerra con la Francia nel Lancashire sono state fondate 400 nuove fabbriche. Si vedono elevarsi edifici dove appena tre anni fa erano i campi, e questi edifici sono già cosí neri come se fossero vecchi di cent'anni. Gli enormi blocchi d'edifici, costruiti da semplici capimastri senza alcuna arte con mattoni rossi, con il solo fine di soddisfare una necessità immediata, fanno un'impressione piuttosto sgradevole. Riporto qui una piccola visione (fig. 54) di un simile quartiere cittadino a Manchester... [167]

Beuth era già stato in Inghilterra nel 1823, e aveva descritto vividamente, in una lettera da Manchester al suo amico Schinkel, la "meraviglia" degli impianti industriali inglesi, con le loro gigantesche filande di cotone e le foreste di ciminiere.

La meraviglia del nostro tempo, amico mio, sono per me le macchine e gli edifici per le macchine, chiamati fabbriche. Simili costruzioni sono alte otto, nove piani, hanno quaranta finestre in lunghezza e quattro in larghezza. Ogni piano ha un'altezza di dodici piedi; son fatti a volte per tutta la loro lunghezza, con una luce di nove piedi ciascuna. Le colonne sono di ferro; le travi che su esse poggiano, pure; le pareti laterali ed i muri perimetrali però sono sottili come fogli di carta, all'altezza del secondo piano non sono piú grossi di due piedi e mezzo. Si dice che una tempesta abbia abbattuto nelle vicinanze una simile costruzione prima che fosse finita; può essere, ma *centinaia*, senza esagerare, stanno in piedi da trenta o quaran-

t'anni come al primo giorno. Un blocco di simili costruzioni sta su punti elevati, che dominano la regione; una foresta di ciminiere di macchine a vapore, ancora piú alte, sottili come aghi, tanto che non si può capire come si reggano, fanno da lontano un meraviglioso colpo d'occhio, specie di notte, quando mille finestre brillano per la luce a gas. Poiché deve esserci chiaro, come puoi immaginare, in un luogo dove un operaio deve controllare 840 fili, cosí sottili che una libbra ne contiene 260 matasse e due avvolti insieme fan da orlo ai pizzi inglesi. [168]

L'introduzione delle macchine con la loro maggior capacità di lavoro dovette lasciare agli inizi senza lavoro numerosi operai. Per tale motivo le macchine ed i loro inventori incontrarono assai spesso la sfiducia generale, che talvolta arrivava al punto di reclamare a gran voce la distruzione delle macchine. La lotta contro le macchine si era già manifestata nel XVII secolo, ma si sviluppò maggiormente nel XVIII. John Kay, che nel 1733 aveva inventato la navetta volante per tessere, accelerando sensibilmente, cosí, il processo di tessitura, attrasse su di sé le ire dei tessitori, che nel 1753 distrussero la sua casa. E Richard Arkwright, che nel 1775 provvide di azionamento idraulico la sua macchina per filare, dovette poi difendere da continui assalti la sua invenzione. Le cose non andarono molto meglio per James Hargreaves, l'inventore della macchina per filare "Jenny," per Samuel Crompton, che sviluppò il filatoio "mule" e per J. Marie Jacquard, costruttore del telaio omonimo.

Giornate lavorative di perfino 16 ore, salari bassi, cattive abitazioni, la continua minaccia di essere licenziato se appena il padrone della fabbrica lo riteneva opportuno per la congiuntura economica del momento: tutto ciò diede origine a parecchie sollevazioni di lavoratori agli inizi dell'industrializzazione. Nel 1811 alcuni operai calzettai rimasti senza lavoro a Nottingham, nell'Inghilterra centrale, distrussero le macchine nelle fabbriche. Nel 1812 Lord Byron entrava alla Camera Alta come rappresentante dei lavoratori disperati; ma il Parlamento decideva di applicare la pena di morte per coloro che si fossero resi colpevoli della distruzione di macchine. Per contrasti fra i padroni della fabbrica ed i tessitori a Rochdale, presso Manchester, si ebbero nel 1829 gravi tumulti, con relativa distruzione delle macchine. Ecco la relazione di un contemporaneo.

A Rochdale, città modello ove prospera la collaborazione ed ogni altra specie di cameratismo, i tessitori irruppero nelle fabbriche e distrussero i telai e le altre macchine. Quindici insorti furono arrestati, ed essendosi fatto un tentativo per liberarli, i militari apersero il fuoco ed uccisero sei persone. L'autore di queste righe fu presente al-

l'incendio di una delle fabbriche di Manchester. L'edificio in fiamme era circondato da migliaia di uomini eccitatissimi, i cui volti, arrossati dal riflesso dell'incendio, esprimevano una gioia crudele, selvaggia. Non appena il fuoco, apertasi una via di piano in piano, sbucò fuori attraverso le lunghe file di finestre, la folla scoppiò in urla di giubilo. E come infine le fiamme penetrarono attraverso il tetto e si alzarono crepitando fino al cielo, la folla impazzita danzò di gioia, urlando e battendo le mani, come per intrattenibile gratitudine, per una grande vittoria ottenuta. [169]

In particolare anche il lavoro dei bambini (fig. 55, tav. XXVI, b) che soprattutto nelle miniere degenerava in un illimitato sfruttamento del lavoro giovanile, suscitò aspre lotte; soltanto verso la metà del XIX secolo cominciò a subentrare assai lentamente un miglioramento delle condizioni sociali. La legge mineraria inglese del 1842 proibí il lavoro dei fanciulli di meno di 10 anni e delle donne nei pozzi.[5] Condizioni di lavoro insopportabili, con giornate lavorative eccessivamente lunghe, cattivi salari, sfruttamento dei fanciulli, si erano già avuti nelle manifatture del XVIII secolo, ma la rivoluzione industriale, con il rapido sviluppo delle industrie laniere, cotoniere e minerarie, aveva esteso questa situazione ad un numero molto maggiore di lavoratori. A partire dalla metà del XIX secolo si cercò, almeno nelle industrie inglesi, di ottenere prestazioni sempre maggiori non con il tener basse le paghe e lunghe le giornate lavorative, ma soprattutto attraverso un miglioramento dell'organizzazione e dei mezzi tecnici impiegati.[6]

Come abbiamo piú volte ripetuto, l'Inghilterra sopravanzava di molto

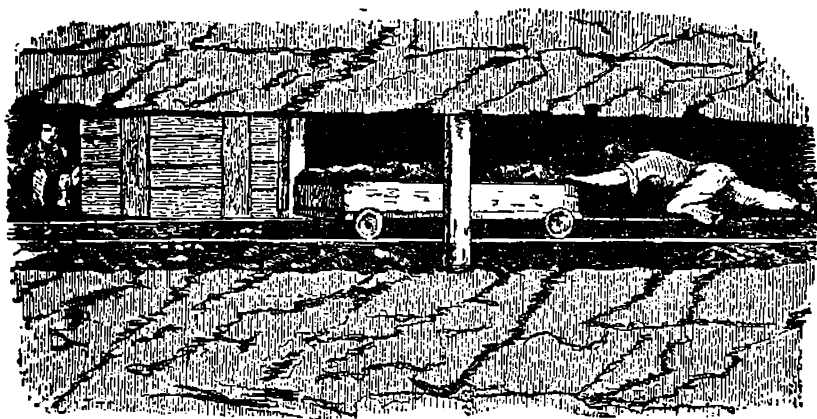



Fig. 55. *Bambini al lavoro in una miniera inglese.* Anno 1842.

nell'industrializzazione il continente, che seguiva con ritardo tale sviluppo. Il vecchio Goethe, che seguiva con molto interesse il grandioso progresso tecnico, riconobbe chiaramente come il continuo processo di industrializzazione dovesse provocare anche la perdita di molti degli antichi e preziosi valori. Negli *Anni di peregrinazione di Wilhelm Meister* diede una vivace rappresentazione dell'industria laniera svizzera, che aveva potuto conoscere tramite il suo amico Johann Heinrich Meyer. In questa particolare industria l'entità dei compiti da svolgere e la capacità e le forze per svolgerli erano ancora in un rapporto accettabile; i lavoratori avevano potuto mantenere il loro interno equilibrio. Il sistema in uso presentava ancora molti caratteri patriarcali. Ma lo sviluppo della meccanizzazione doveva ulteriormente imporsi in questo mondo ancora equilibrato.

I vecchi invece avevano pronte ancora domande di ogni sorta: tutti volevano sapere della guerra, che per fortuna si combatteva molto lontano, sebbene per quelle contrade non potesse divenire pericolosa. Si rallegravano tuttavia della pace, quantunque fossero preoccupati per un'altra minaccia, poiché non c'era da illudersi: lo sviluppo delle macchine nella regione era sempre maggiore, e minacciava sempre piú di rendere inattive le mani operose degli artigiani. Ma anche per questo si trovavano motivi di conforto e di speranza...

Le filatrici siedono davanti all'arcolaio, non troppo in alto; lo tengono fermo alcune con i piedi, vicini l'uno all'altro, altre invece con il solo piede destro, tenendo piú indietro il sinistro. Con la mano destra fanno girare la ruota ed estraggono il filo, protendendosi quanto piú possono, e compiono movimenti graziosi: il volgersi del corpo, il tendersi del braccio pieno e rotondo danno una snella figura. Specie quest'ultimo modo di filare forma un contrasto assai pittoresco, tale che le nostre piú belle dame non dovrebbero aver paura di perdere nulla del loro fascino e della loro grazia se invece della chitarra volessero maneggiar l'arcolaio.

Nuovi sentimenti mi si formavano in un simile ambiente; le ruote che scorrono hanno una certa eloquenza, le ragazze cantano salmi e, anche se piú di rado, altre canzoni.

Lucherini e cardellini fanno udire il loro cinguettio di entro le gabbie appese alle pareti, e non si potrebbe trovare un quadro di vita piú attiva di quello offerto da una stanza dove si trovino parecchie filatrici...

Devo poi dire che quelle montanine, eccitate per la presenza di ospiti cosí rari, si sono mostrate particolarmente cordiali e gentili. Soprattutto esse si rallegravano perché m'informavo accuratamente di

ogni cosa, osservavo tutto quanto esse m'andavano descrivendo, disegnavo i loro attrezzi e le loro semplici macchine, e schizzavo addirittura le loro braccia, le loro mani e le loro graziose membra, come si può vedere dal disegno qui accanto. Come si fece sera, ci fu mostrato l'intero lavoro compiuto; i fusi pieni furono riposti in apposite cassette e tutta la filatura del giorno fu riposta accuratamente. Ora non ero piú un estraneo, ma non per questo smisero il lavoro Presero gli aspi, e mi mostrarono con maggior disinvoltura gli strumenti ed il modo di adoperarli, ed io andavo annotando tutto attentamente. [170]

Capitai proprio all'inizio del lavoro, cioè al passaggio dalla filatura alla tessitura, e poiché non trovai altra distrazione, mi feci direttamente dettare nel mio taccuino il procedimento stesso secondo il quale il lavoro veniva svolto.

La prima operazione, l'incollatura del filo, era stata svolta il giorno precedente. Lo si fa bollire in una soluzione collosa diluita, composta di amido e di un po' di colla da falegname, con il che il filo acquista una maggior consistenza. Quella mattina per tempo le matasse di filo erano già asciutte e ci si preparava ad incannarle, cioè ad avvolgere il filo sulle spole. Il vecchio nonno, seduto vicino alla stufa, eseguiva questo semplice lavoro; un nipotino gli stava accanto e sembrava ansioso di maneggiar lui stesso le spole. Frattanto il padre, per predisporre l'ordito, infilava queste spole su un telaio suddiviso da stecche trasversali, cosí che potessero muoversi liberamente intorno a robusti fili metallici disposti perpendicolarmente, e lasciassero scorrere il filo. Le spole vengono infilate in ordine con filo piú grosso o piú sottile, cosí come lo richiede il disegno, o piuttosto la lineatura del tessuto. C'è uno strumento speciale (il *brittli*), fatto a foggia di sistro, con fori dalle due parti attraverso i quali si tirano i fili: viene tenuto nella mano destra di chi tesse, mentre nella sinistra egli tiene insieme i fili e li dispone sull'orditoio, andando avanti e indietro con la mano. Una volta dall'alto in basso, e una volta dal basso in alto si chiama una "mancata," e secondo lo spessore e l'ampiezza del tessuto si fanno parecchie mandate. La lunghezza può essere di 64 o solo di 32 braccia. Al principio di ogni mandata, con la mano sinistra si pongono uno o due fili in alto e altrettanti in basso, e questo si chiama fare una pannocchia; i fili cosí contesti vengono fissati a due chiodi sulla parte superiore del telaio. Ciò si fa perché il tessitore possa tenere i fili nell'ordine dovuto. Quando si è finito di far l'ordito, le pannocchie vengono legate

e le mandate divise, perché non abbiano a confondersi fra loro; quindi con verderame sciolto si fanno alcuni "segni" sull'ultima mandata, perché chi tesse possa applicare nuovamente la misura giusta; infine si toglie tutto dal telaio, e lo si avvolge in forma di un grosso gomitolo che si chiama la "catena." [171]

Ora osservavo attentamente l'allicciatura. A questo scopo si fanno scorrere le mandate dell'ordito attraverso un grande pettine, lungo quanto il subbio attorno al quale si compie l'allicciatura. Il subbio è munito di un'intaccatura nella quale viene posto un bastoncino rotondo che passa attraverso la fine dell'ordito, e quindi viene fissato nella detta intaccatura. Un bambino o una bambina siedono sotto al telaio e tirano la fune dell'ordito, mentre la tessitrice gira con forza il subbio con una leva e bada a che tutto si disponga in ordine. Quando tutto è avvolto, vengono cacciati nella pannocchia tre bastoncini, uno rotondo e due piatti, chiamati "regoli," affinché la pannocchia si tenga insieme, e quindi si comincia a girare...

Il bozzimare ed il ventilare son operazioni lasciate per lo piú ai giovani che imparano a diventar tessitori, oppure nell'ozio delle sere invernali è un fratello o un dilettante che rende questo servizio alla tessitrice; se non altro, queste persone avvolgono il filo nei piccoli rocchetti che servono per far la trama...

Ho trovato che dappertutto dove si tesse regnano un'alacrità, un'animazione indescrivibili, ed al tempo stesso c'è qualcosa di pacifico, di casalingo; parecchi telai erano già in attività, poi cominciarono a girare anche i filatoi; presso la stufa stavano i vecchi, che discorrevano confidenzialmente con i vicini o i conoscenti venuti a far loro visita. Talora si udiva qualche canto: per lo piú i salmi a quattro voci di Ambrosius Lobwasser, raramente canti profani; ogni tanto le ragazze scoppiavano in una lieta risata, quando il cugino Giacomo raccontava qualche buffo caso...

Una vita domestica fondata sulla pietà religiosa, animata e conservata dalla diligenza e dall'ordine, non troppo ristretta, e non troppo larga, nella quale i doveri sono nel piú armonioso rapporto con le facoltà e con le forze. Attorno ad essa si agita una cerchia di artigiani nel senso piú primitivo e piú puro della parola; in questo ambiente si hanno al tempo stesso un'azione che conosce i suoi limiti ma che arriva ugualmente lontano, accorgimento e misura, innocenza ed attività. [172]

Noi stessi fabbricanti, o un nostro agente, portiamo il giovedí sera al mercato la merce che si è raccolta durante la settimana, e

la mattina del venerdí, di buon'ora, arriviamo cosí in città insieme ad altri, dediti alla stessa attività. Ciascuno di noi porta quindi la merce ai mercanti che commerciano all'ingrosso e cerca di venderla al miglior prezzo possibile, ma accetta anche in pagamento, invece di denaro, cotone grezzo. [173]

È uso ed è stabilito che la tessitura sia terminata per fine settimana e venga portata al sabato pomeriggio all'imprenditore; questi la esamina, la misura e la pesa, per vedere se il lavoro è fatto bene e senza difetti, ed anche perché gli venga consegnata la quantità dovuta in peso e misura; se tutto è in ordine, egli paga subito la mercede pattuita. A sua volta, egli ha ora cura di ripulire il tessuto da tutti i fili e nodi che vi sono rimasti attaccati, cosí da mettere davanti all'occhio del compratore la parte piú bella e perfetta del lavoro, e render la merce piú attraente. [174]

Quella che mi turba dunque è una preoccupazione di carattere commerciale, ma non del momento; essa riguarda, purtroppo, tutto l'avvenire. È il predominio sempre piú esteso delle macchine che mi turba e mi tormenta, è come un uragano che si avvicina, lentamente lentamente, ma che ha preso ormai la sua direzione: esso arriverà e colpirà. Già mio marito era assillato da questo angoscioso presentimento. Ci si pensa, se ne parla, ma a nulla serve il pensarvi ed il parlarne. E chi avrebbe il coraggio di rappresentarsene nella mente le terribili conseguenze? Pensi, che parecchie valli come quella attraverso cui Ella è passata, si aprono in mezzo ai monti, e dinanzi ai suoi occhi è certo ancora presente la vita serena e lieta alla quale ha assistito per alcuni giorni e di cui ieri, nel vedere tutta quella folla festiva venuta di ogni dove, ha avuto la piú gradita testimonianza. S'immagini ora questa vita a poco a poco languire, morire; questi luoghi anticamente selvaggi, popolati da secoli, ripiombare nella primitiva solitudine!

Non restano che due vie, una piú triste dell'altra: afferrarci noi stessi al nuovo ed accelerare la rovina dell'antico, oppure andar via, portare con noi i migliori e piú degni, e cercare un miglior destino di là del mare. L'una via come l'altra ha bisogno di esser ben valutata, ma chi ci aiuterà a riflettere sulle ragioni dalle quali dipende la nostra decisione? So bene che c'è qui intorno chi pensa già di metter su delle macchine e di assorbire la fonte stessa di vita di queste popolazioni. Non posso rimproverare a nessuno di voler pensare prima a sé che agli altri; ma a me parrebbe vergogna spogliar questa brava gente e vederla costretta ad andarsene, povera e senza aiuto;

ed andarsene dovrà, prima o dopo. Tutti lo presentono, lo sanno, lo dicono, ma nessuno sa prendere una decisione salutare. E pure, come prendere una decisione? non riuscirà a loro altrettanto difficile che a me? [175]

Uno degli spiriti piú eminenti che presiedettero alla formazione di uno stato industriale tedesco, il già nominato fondatore delle officine meccaniche di Wetter nella Ruhr, Friedrich Harkort, riconobbe con profonda sensibilità le necessità sociali dell'epoca, necessità che non si potevano ignorare se non si voleva che l'"ora delle decisioni" scoccasse quando ancora lo Stato era impreparato ad affrontarla. Harkort, la cui opera a favore delle ferrovie tedesche ha già formato oggetto del nostro discorso, scrisse nel 1844 *Sugli ostacoli della civilizzazione e sull'emancipazione delle classi inferiori*. Eccone alcuni brani.

Trecento e venti anni dopo Gutenberg [nel 1763] si fece avanti James Watt, un semplice fabbricante di strumenti di Glasgow, con la sua macchina a vapore perfezionata; Arkwright, un barbiere, vi aggiunse la sua macchina per filare, e per l'attività industriale del mondo intero si aprí ineluttabilmente una nuova, smisurata via di progresso. Le realizzazioni e le limitazioni dell'industria medioevale furono stravolte come da un'improvvisa, enorme inondazione, e gli uomini di Stato restarono stupefatti davanti ai grandiosi fenomeni che non potevano né comprendere né tanto meno seguire. La macchina serviva obbediente lo spirito dell'uomo; soltanto, mentre essa andava oltre la sua semplice forza fisica, il capitale ottenne la vittoria sul lavoro e diede origine ad una nuova sudditanza.

I grandi capitali sono sorti soprattutto attraverso le colpe delle amministrazioni, dai monopoli, dai debiti pubblici e dal deprecato traffico di carta moneta. Essi sono alla base dei giganteschi impianti, conducono alla truffa che va oltre il bisogno, ed opprimono le piccole officine, mediante le quali, prima, anche chi non era dotato di mezzi poteva farsi una strada con la propria diligenza, con una giudiziosa tendenza all'agiatezza.

Con l'introduzione delle macchine, con la suddivisione del lavoro che, come ci mostra Babbage, viene spinta fino all'inverosimile (ad esempio nell'industria degli orologi esistono 102 rami diversi, ai quali vengono indirizzati i vari apprendisti), sono necessarie soltanto una forza limitata ed assai poca intelligenza, e con la concorrenza il salario deve esser limitato al minimo indispensabile per restare in vita.

Se appena si verificano quelle crisi di sovraproduzione, che sem-

pre si ripetono a breve distanza, le paghe scendono subito al disotto dei limiti minimi; spesso il lavoro cessa completamente per qualche tempo, e poiché, per effetto della cattiva educazione sociale, il guadagno dei tempi buoni viene dissipato, ecco che una massa di miseri viene abbandonata alla fame ed a tutte le pene dell'indigenza.

I lavoratori, spinti dalla necessità di sopravvivere, hanno già tentato spesso, specialmente in Inghilterra, dove la situazione è peggiore che in altri luoghi, di tener testa al capitale, riuscendo a stipulare un accordo in base al quale non si lavorerà al disotto di una determinata paga minima.

Fatica inutile! Il capitale può facilmente trovare impiego altrove e può durare piú a lungo, mentre il lavoratore viene costretto dai bisogni della vita ad arrendersi a qualsiasi paga. I limiti della sua cultura e della sua pratica non gli permettono di passare ad un'altra occupazione, in condizioni diverse. Soprattutto le grandi città sono la culla di queste industrie, che rendono piú ricco lo Stato ma piú poveri gli uomini. Esse fanno crescere una generazione che, allontanata dalla chiesa e dalla scuola, privata di ogni educazione e di ogni costume, dissipa oggi senza considerazione nelle taverne quanto aveva guadagnato ieri, stringe legami irregolari o vive in concubinato, correndo sconsideratamente verso la miseria. Cosí si è verificato il fatto atroce che dopo la carta di Villeneuve-Bargemont i piú civili popoli d'Europa portano i piú neri colori del pauperismo!...

Una generazione già resa malsana non si può trasformare; la riforma deve partire dalle radici, cominciare dalla gioventú. Dallo Stato noi esigiamo che non intervenga solo per comandare, ma anche per aiutare e per sollecitare.

Inoltre il governo deve controllare e far osservare con tutto rigore che nessun fanciullo venga impiegato nelle fabbriche prima di aver adempiuto l'obbligo scolastico.

Ai genitori dev'essere assolutamente tolto il diritto di vendere i propri figli all'industria come schiavi... Cosí come stanno ora le cose, i fanciulli vengono impiegati soltanto per deprimere le paghe agli adulti; se i minorenni verranno eliminati dalla cerchia di coloro che possono lavorare, i piú anziani troveranno migliori compensi per il lavoro delle loro mani. Anch'io appartengo alla categoria dei padroni d'industria, ma disprezzo di tutto cuore la creazione di qualsiasi valore e ricchezza che si faccia a spese della dignità umana, ed abbassi la classe dei lavoratori. Il compito della macchina è di sollevare l'uomo dalla servitú animalesca, non quello di creare ulteriori

schiavitú...

Cosí come la legge prescrive la domenica per il riposo, essa può stabilire che la sera resti libera dal lavoro...

Alla luce del gas non si secca la paglia, e non si semina né si raccoglie al lume delle lampade. Solo nelle officine l'egoismo e la concorrenza fanno varcare i limiti posti dalla natura...

Con l'introduzione delle macchine la forza bruta dell'uomo è diminuita di valore: si aumenti dunque, per ricreare l'equilibrio, la sua capacità intellettuale, e si veda a questo proposito quanto ho detto dell'agricoltura...

Si potrebbe rivelar pratico il collegare le colonie di lavoratori con le città principali mediante ferrovie a cavalli, che oltre al trasporto delle persone servissero al trasporto dei materiali da costruzione e dei prodotti finiti. Se ne può costruire un miglio per 30.000 talleri e, utilizzando le strade maestre, il prezzo potrebbe esser ancora notevolmente piú basso. Questi sobborghi non comporterebbero alcun pericolo per le città, la gente sarebbe sana nel corpo e nell'anima, all'opposto dell'odierna feccia di popolo stagnante nelle grandi città...

L'industria ha già formato un'aristocrazia, analoga a quella dei proprietari terrieri, che cresce continuamente d'influenza, poiché come per i Pari d'Inghilterra i suoi membri provengono sempre dalle cerchie della fortuna e della abilità.

I suoi fili coprono tutte le parti del mondo, e nelle lontane regioni dove lo scettro del re non arriva, regna sovrano il suo commercio e la sua borghesia.

Questa gigantesca industria è figlia dell'epoca attuale e potente erede delle corporazioni dei secoli dall'XI al XVIII.

Le corporazioni, un tempo cosí potenti nella comunità cittadina, sono sparite; la maggior parte dei maestri indipendenti, piú d'uno dei quali si conquistò un posto nella storia, non esiste piú; perduti sono i segreti ed i previlegi, sciolte sono le masse un tempo ordinate.

Da questa massa dedita all'industria emergono i grandi industriali; come i condottieri del Medioevo essi raccolgono con il denaro i vecchi e i giovani di tutte le razze sotto le loro bandiere, mettendo in gioco a loro rischio il danno o il guadagno dell'impresa.

Mentre combattono fra di loro la battaglia della concorrenza, conducono al tempo stesso l'incruenta guerra delle nazioni verso l'estero.

Il capitale ed il talento dell'imprenditore tengono insieme l'etero-

genea schiera; egli assume personale o ne licenzia, a seconda che le circostanze lo richiedono; il denaro è l'unico legame; quando cade il capo, l'intero seguito si dissolve!

Questo seguito dell'industria, in generale senza una patria fissa, senza speranze, senza futuro, che dissipa oggi, per morir d'inedia domani, con il suo numero pericolosamente in aumento, comincia a costituire una minaccia per il benessere della borghesia.

Abbiamo già rilevato precedentemente che sembra impossibile far responsabile il padrone della fabbrica del sostentamento della sua gente. Soltanto per questi si potrebbe mettere con urgenza all'ordine del giorno l'introduzione di un sistema di mutua assistenza (come diremo piú avanti), sia per i casi di malattia sia per quelli di invalidità, assistendoli con opportuni sussidi. Visto che lo Stato aiuta i padroni con dazi protettivi, esso dovrebbe ben far qualcosa anche per i servi...

In base alle condizioni odierne il lavoratore presta determinati servizi dietro corresponsione di determinati compensi, ed è quindi necessaria ancora una stretta sorveglianza; inoltre egli non si cura del benessere dell'impresa né di quello dell'impresario. Le forze del lavoro si presentano ancora troppo rozze ed incolte per rendere possibile un loro piú stretto legame con il capitale. Se potessimo invece considerarli come una massa di individui socialmente educati, si vedrebbe che sarebbero possibili rapporti molto migliori. Oltre al salario fisso si dovrebbe lasciare al lavoro una parte degli utili, ed allora lo zelo e l'attività farebbero meraviglie. Ne vediamo già in piccolo gli effetti laddove il fabbricante concede un premio per il minor consumo di materiale. Trattandosi del proprio interesse, la gente diverrebbe assai piú ricca d'inventiva e si controllerebbe da sola assai meglio di quanto non possa fare qualsiasi sorveglianza. Basterebbero meno sorveglianti: di qui, un nuovo risparmio. Lo stesso capitale avrebbe un maggior potere, ed i prezzi della merce diverrebbero piú bassi...

Verrà il tempo in cui le nostre proposte troveranno applicazione in piú d'una industria, poiché il netto contrasto fra la piú larga abbondanza e la completa indigenza si fa ogni giorno piú impressionante. Tuttavia, le popolazioni che dovessero fare un simile tentativo, dovrebbero aver goduto di una formazione assai migliore di quella ricevuta dall'attuale proletariato della grande industria...

In definitiva, quanto noi auspichiamo per le classi dell'industria si può riassumere nel modo seguente: migliore formazione scolastica e fisica, esclusione dei fanciulli dalle fabbriche, ed un limite massimo

per le ore di lavoro giornaliere per gli adulti; miglioramento delle abitazioni, che per quanto possibile sono da decentrare nelle campagne; alimenti piú a buon mercato e piú sani; formazione di unioni per l'assistenza reciproca; partecipazione ai guadagni del capitale; associazioni per la diffusione delle conoscenze d'utilità comune, ecc.

La maggior parte di questi punti è già presente, con contorni piú o meno definiti, alla considerazione dell'opinione pubblica; essi possono essere differiti, come purtroppo è avvenuto in Inghilterra, ma l'ora delle decisioni scoccherà presto, e tanto meglio per lo Stato che vi sarà preparato! [176]

Harkort, che cosí si esprimeva, era un industriale, e deputato prima alla Dieta di Westfalia, quindi al Parlamento Federale della Germania Settentrionale. Egli conosceva in tutta la sua portata il problema sociale della tecnica. Particolarmente a cuore gli stavano una miglior formazione culturale dei lavoratori e l'uguaglianza fra questi e gli imprenditori. Ma le sue richieste potevano farsi strada solo assai lentamente, non da ultimo anche per il fatto che molti lavoratori non si lasciavano indurre ad apprendere quelle ulteriori cognizioni che la meccanizzazione richiedeva, neanche con la promessa di paghe piú alte.

Alla metà del secolo si levò, con spirito rivoluzionario, la voce di Carlo Marx. Non si discuterà qui la dottrina marxistica del materialismo dialettico e della rivoluzione del proletariato; si vuol solo ricordare come Marx sia stato uno dei primi a richiamare nel modo piú efficace l'attenzione sulla miseria alla quale sarebbero state condotte da uno sconsiderato processo di industrializzazione le classi lavoratrici, che trascinavano la loro esistenza in condizioni di lavoro spesso inumane e, specie nei periodi di crisi, in una continua incertezza. Come politico e come sociologo, Marx riconobbe la minaccia spirituale che incombeva sul lavoratore dell'industria, la cui umanità veniva messa in pericolo. Marx sottolineava in particolare il fatto che la macchina non costituiva solo un problema tecnico ma anche un problema sociale. Egli analizzò suggestivamente l'influsso della macchina a vapore sulla società umana. Riportiamo qui dal *Capitale* di Marx, del 1867, alcuni passi particolarmente significativi.

La trasformazione del metodo di produzione in una sfera industriale porta con sé un'analoga trasformazione nelle altre sfere. Ciò vale anzitutto nei rami di una industria che sono collegati come fasi diverse di un lavoro complessivo, quantunque la divisione sociale del lavoro li abbia separati trasformando i loro prodotti in altrettante merci indipendenti. Cosí la filatura meccanica ha reso necessaria la tessitura meccanica ed ambedue hanno provocato la rivoluzione chimico-

meccanica della candeggiatura, dello stampaggio e della tintoria. Cosí pure la rivoluzione della filatura del cotone ha provocato l'invenzione del *gin* per separare le fibbre del cotone dal relativo seme, invenzione che ha reso possibile la produzione del cotone nell'immensa quantità che risulta oggi necessaria. La rivoluzione nell'industria e nell'agricoltura ha reso necessaria una rivoluzione nelle condizioni generali del processo di produzione sociale, cioè nei mezzi di trasporto e di comunicazione. I mezzi di trasporto e di comunicazione di una società che aveva per perno, per usare una espressione di Fourier, la piccola agricoltura, l'industria domestica e l'artigianato urbano, non erano assolutamente in grado di sopperire ai bisogni della produzione manifatturiera, con la sua divisione allargata del lavoro sociale, la sua concentrazione di mezzi di lavoro e di operai, i suoi mercati coloniali: per cui fu necessario trasformare anche i mezzi di trasporto e di comunicazione. Cosí pure i mezzi di comunicazione e di trasporto tramandati dal periodo manifatturiero divennero presto altrettante remore per la grande industria con la sua febbrile rapidità di produzione, il suo continuo lancio di capitali e di lavoratori da una sfera di produzione ad un'altra e le nuove relazioni di mercato mondiale che essa aveva creato. A parte le sostanziali trasformazioni introdotte nella costruzione delle navi a vela, il servizio di trasporto e di comunicazione venne presto adattato alla grande industria, con un sistema di battelli a vapore fluviali, ferrovie, navi a vapore transoceaniche, telegrafi. Le enormi masse di ferro che si dovevano ora lavorare, saldare, tagliare, forare e forgiare, resero necessarie macchine enormi, la cui costruzione sarebbe stata impossibile con la tecnica meccanica dell'epoca manifatturiera.

La grande industria dovette quindi impadronirsi del suo mezzo di produzione caratteristico, la macchina stessa, e costruire macchine mediante macchine. Essa si creò cosí una base tecnica adeguata e poté quindi procedere con le proprie forze. Con la crescente meccanizzazione del primo terzo del secolo XIX, la macchina s'impadroní a poco a poco della fabbricazione delle macchine utensili. Solo negli ultimi anni [prima del 1867] l'immensa costruzione delle strade ferrate e delle navi a vapore fece sorgere le ciclopiche macchine consacrate alla costruzione dei motori primi. La condizione essenziale per poter fabbricare macchine mediante altre macchine era la disponibilità di una macchina motrice capace di qualsiasi prestazione e tuttavia facilmente regolabile. Essa già esisteva, ed era costituita dalla macchina a vapore. Ma si trattava anche di produrre meccanicamente quelle

forme rigorosamente geometriche, come la linea, il piano, il cerchio, il cono, la sfera, che erano necessarie per alcune parti delle macchine. Henry Maudslay risolse il problema all'inizio del secolo inventando lo *slide-rest* (la slitta da tornio), che ben presto venne reso automatico e, dal tornio al quale era stato destinato, passò poi ad altre macchine utensili. Questo dispositivo meccanico non sostituisce solo un determinato strumento, ma piuttosto la mano stessa dell'uomo, che produce determinate forme dirigendo, appoggiando ed adattando il bordo tagliente dell'utensile contro o sopra il materiale da lavorare, ad es. ferro. Si riuscí cosí "a produrre le forme geometriche desiderate con un tal grado di esattezza, di facilità e di rapidità, quale non avrebbe potuto dare nessuna esperienza accumulata nelle mani del piú abile fra gli operai."

Se si considera ora la parte che occupa la macchina utensile propriamente detta nel macchinario impiegato per la costruzione delle macchine, ritroviamo in essa lo strumento manuale, ma in proporzioni gigantesche. La parte operatrice della macchina per eseguire i fori, ad esempio, è un succhiello colossale, che viene azionato da una macchina a vapore, e senza il quale a loro volta i cilindri delle grandi macchine a vapore e delle presse idrauliche non potrebbero venir costruiti. Il tornio meccanico non è altro che una ciclopica riproduzione del tornio a pedale, la piallatrice non è che un falegname di ferro, che lavora il ferro con gli stessi strumenti con i quali il falegname lavora il legno; lo strumento che, nei cantieri navali di Londra, taglia le lamiere che ricoprono l'ossatura delle navi, è una specie di gigantesco rasoio, lo strumento della cesoia, che taglia il ferro come la forbice del sarto il panno, è una forbice mostruosa, ed il martello a vapore opera con una normale testa di martello, ma è talmente pesante che lo stesso dio Thor non potrebbe sollevarlo.

Uno di questi martelli a vapore ad esempio, che sono stati inventati da Nasmyth, pesa piú di 6 tonnellate e batte, con una caduta verticale di 7 piedi, su un'incudine del peso di 36 tonnellate. Esso polverizza come per gioco un masso di granito, e nondimeno è capace di piantare un chiodo in un pezzo di legno con una serie di piccoli colpi.

Il mezzo di lavoro acquista come macchinismo una esistenza materiale che implica la sostituzione delle forze della natura alle forze dell'uomo, e la sostituzione di una cosciente applicazione delle scienze naturali alla routine derivante dalla pratica. Nella manifattura la articolazione del processo lavorativo sociale è una combinazione puramente soggettiva (personale) di operai parziali; nel sistema delle

macchine, la grande industria possiede un organismo di produzione completamente oggettivo, che l'operaio si trova davanti come condizione materiale già pronta per la produzione. Nella cooperazione semplice ed anche in quella basata sulla suddivisione del lavoro, la soppressione del lavoratore isolato prodotta dal lavoratore socializzato appare ancora come qualcosa di piú o meno casuale. Il macchinismo, salvo qualche eccezione che ricorderemo piú oltre, non funziona se non attraverso un lavoro direttamente socializzato, ossia in comune. Il carattere cooperativo del processo di lavoro diviene dunque in questo caso una necessità tecnica imposta dalla natura stessa del mezzo di lavoro. [177]

Poiché l'effettivo salario del lavoratore talora si eleva al disopra, e talora scende al disotto del valore della sua forza-lavoro, la differenza fra il prezzo della macchina ed il prezzo della forza-lavoro che da essa deve essere sostituita può variare di molto, anche se la differenza fra la quantità di forza di lavoro necessaria per la produzione della macchina e la quantità complessiva di lavoro da essa sostituita rimanga costante. Però è soltanto la prima differenza quella che determina il costo di produzione della merce per il capitalista, e che influisce su di lui per effetto della legge della concorrenza. Per questo oggi in Inghilterra si inventano macchine che vengono impiegate soltanto nel Nordamerica, cosí come nel XVI e XVII secolo si inventavano macchine in Germania che solo l'Olanda impiegava, e cosí come alcune invenzioni francesi del XVIII secolo furono sfruttate solo in Inghilterra. Nei paesi di antica civiltà, la stessa macchina, impiegata in alcuni rami dell'industria, produce in altri rami una tale sovrabbondanza di lavoro (*redundancy of labour*, dice Ricardo), che il calo delle paghe al disotto del valore della forza-lavoro impedisce l'uso delle macchine, e lo rende superfluo, o addirittura impossibile, dal punto di vista del capitale, il cui guadagno deriva in verità dalla diminuzione non del lavoro impiegato, ma del lavoro pagato. In questi ultimi anni il lavoro dei fanciulli nelle manifatture laniere inglesi venne assai diminuito, e qua e là quasi soppresso. Perché? La legge sul lavoro nelle fabbriche obbligava ad impiegare due squadre di fanciulli, una per lavorare sei ore, e l'altra quattro, oppure ognuna solo cinque. Ma i genitori non volevano vendere gli *half-timers* (lavoratori a mezza giornata) a prezzo piú basso dei *full-timers* (lavoratori a piena giornata). Da ciò la sostituzione degli *half-timers* mediante macchine. [178]

Per quanto sia stato grande il progresso dell'industria inglese ne

Bernardino Barbatelli, detto Poccetti, *Fonderia di cannoni*. XVI secolo.

gli otto anni dal 1848 al 1856, con la giornata lavorativa di dieci ore, esso fu di gran lunga superato nei sei anni seguenti, dal 1856 al 1862. Ad esempio, nella fabbricazione della seta v'erano 1.093.799 fusi nel 1856, 1.388.544 nel 1862; 9.260 telai nel 1856, 10.709 nel 1862. Al contrario il numero dei lavoratori era di 56.131 nel 1856, di 52.429 nel 1862. Ciò comporta un incremento del 26,9% nel numero dei fusi e del 15,6% nel numero dei telai, contro una contemporanea diminuzione del 7% nel numero degli operai. Nelle fabbriche di *worsted* (pettinati) vennero impiegati 875.830 fusi del 1850, 1.324.549 nel 1856 (aumento 51,2%) e 1.289.172 nel 1862 (diminuzione 2,7%). Se si tolgono però i fusi da torciture, che figurano nel conto relativo al 1856 ma non in quello relativo al 1862, il numero di fusi resta praticamente costante dopo il 1856. A partire dal 1850, fu invece raddoppiata in molti casi la velocità dei fusi e dei telai. Il numero di telai a vapore nelle fabbriche di *worsted* era nel 1850 di 32.617, nel 1856 di 38.956 e nel 1862 di 43.048. Il numero di persone occupate era nel 1850 di 79.737, nel 1856 di 87.794 e nel 1862 di 86.063, fra le quali 9956 ragazzi al disotto dei 14 anni nel 1850, 11.228 nel 1856 e 13.178 nel 1862. Malgrado il forte aumento nel numero dei telai dal 1856 al 1862, il numero totale di persone impiegato è dunque diminuito, quello dei fanciulli sfruttati è aumentato.

Il 27 aprile 1863 un membro del Parlamento, il signor Ferrand, fece alla Camera dei Comuni la seguente dichiarazione: "Delegazioni di operai provenienti da 16 distretti del Lancashire e del Cheshire per incarico delle quali ora parlo, mi hanno comunicato che il lavoro nelle fabbriche aumenta continuamente a causa del perfezionamento dei macchinari. Mentre prima una sola persona serviva, con gli aiutanti, due telai, ora essa ne serve tre, e senza aiutanti, e non è raro che debba badare addirittura a quattro, ecc. Il lavoro di 12 ore, come risulta dai dati di fatti comunicatimi, viene ora concentrato in meno di 10 ore. È quindi facile comprendere in quale enorme proporzione sia andata aumentando la fatica dei lavoratori industriali negli ultimi anni." [179]

Nella manifattura e nell'artigianato, l'operaio si serve *del* suo strumento, nella fabbrica invece egli serve *alla macchina*. In un caso il movimento dei mezzi di lavoro dipende da lui, nell'altro egli non può seguirlo. Nella manifattura gli operai costituiscono le membra di un meccanismo vivente; nella fabbrica esiste, indipendentemente da essi, un organismo morto, nel quale essi sono incorporati come accessori viventi. "La fastidiosa uniformità di un lavoro penoso e senza

fine, dove lo stesso processo meccanico viene continuamente ripetuto, rende l'operaio simile a Sisifo; come il masso di roccia, il peso del lavoro ricade senza tregua sul lavoratore sfinito." Il lavoro meccanico, mentre sovreccita all'estremo il sistema nervoso, impedisce la molteplice attività dei muscoli, ed ostacola qualsiasi libera attività del corpo o dello spirito. La stessa maggior facilità del lavoro diventa una tortura, in quanto la macchina non toglie al lavoratore la fatica, ma toglie ogni interesse al lavoro. È fenomeno comune a tutta la produzione capitalistica, in quanto non sia soltanto processo lavorativo ma anche processo di valorizzazione del capitale, il fatto che non è l'operaio che domina le condizioni di lavoro, ma sono inversamente le condizioni di lavoro che dominano l'operaio; però è la macchina che per prima ha realizzato tecnicamente questo capovolgimento. Il mezzo di lavoro, trasformato in automa, si presenta davanti allo stesso operaio durante il processo di lavoro sotto forma di capitale, di lavoro morto cioè, che domina e sugge la forza-lavoro vivente.

Nella grande industria, che si regge sulla macchina, si compie, come già abbiamo indicato, la separazione del lavoro manuale dalle capacità intellettuali, e la trasformazione di queste ultime in potere del capitale sul lavoro. L'abilità parziale del lavoratore applicato alla macchina, e reso cosí impotente, sparisce come accessorio assolutamente trascurabile davanti alla scienza, alle immani forze della natura ed al lavoro sociale di masse che costituiscono i tratti caratteristici del sistema industriale e che formano la potenza del *master* (padrone). Nella mente di questo padrone la macchina e il suo potere esclusivo su di essa sono concresciuti inseparabilmente, ed in caso di conflitto con le sue "braccia" egli grida sprezzantemente a queste: "Gli operai di fabbrica farebbero molto bene a ricordare che il loro lavoro è in effetti una ben vile sorta di lavoro; che non ve n'è di piú facile da apprendere e, in considerazione della sua qualità, di meglio pagato, poiché nessun lavoro può essere tanto compiutamente appreso in cosí breve tempo anche dai piú inesperti. Le macchine del padrone, hanno una parte ben piú importante nel processo della produzione che non il lavoro e l'abilità degli operai, che possono imparare in un tirocinio di sei mesi, anche se sono rozzi braccianti e nulla piú." [180]

La lotta fra il capitalista ed il salariato comincia con il rapporto capitalistico stesso: essa infuria per tutto il periodo delle manifatture; ma solo con l'introduzione della macchina l'operaio inizia ad attaccare lo stesso mezzo di lavoro, quale materiale incarnazione del capitale. Egli si rivolta contro questa determinata forma di mezzo di pro-

duzione come fondamento materiale di tutto il sistema di produzione capitalistica. [181]

Se ad esempio si dice che occorrerebbero 100.000.000 di persone per filare, con l'antico filatoio, la lana che viene attualmente filata a macchina in Inghilterra da 500.000 persone, ciò non significa che la macchina abbia preso il posto di questi milioni di persone, che non sono mai esistite; ciò significa solo che occorrerebbero molti milioni d'operai per sostituire le macchine. Se invece si dice che il telaio a vapore ha gettato sul lastrico in Inghilterra 800.000 tessitori, non si parla allora di macchinario esistente, che potrebbe essere sostituito con un certo numero di lavoratori, ma di un esistente numero di lavoratori che sono stati soppiantati o soppressi nella realtà dei fatti dalle macchine. Nel periodo manifatturiero il mestiere manuale, anche se scomposto nelle varie parti, restava la base dell'industria. La domanda dei nuovi mercati coloniali non poteva restare soddisfatta dal numero relativamente modesto di operai urbani della tradizione medievale e d'altra parte le manifatture aprivano egualmente nuovi campi di produzione alle popolazioni della campagna, scacciate dalla terra per effetto del decadere del sistema feudale. In quell'epoca quindi la suddivisione del lavoro e la cooperazione negli opifici mostravano piú che altro il loro lato positivo, consistente nell'aumento della produttività dei lavoratori. La cooperazione e la combinazione dei mezzi di lavoro nelle mani di pochi, nel campo dell'agricoltura, determinarono in effetti grandi, repentini e violenti cambiamenti nei sistemi di produzione e quindi nelle condizioni di vita e di occupazione delle popolazioni rurali in molti paesi, anche molto tempo prima del sorgere della grande industria. Ma questa lotta si svolse originariamente piú fra grossi e piccoli proprietari terrieri che non fra capitalisti e salariati; d'altra parte, nei casi in cui i lavoratori furono soppiantati da mezzi di lavoro, come cavalli, pecore, ecc., si ebbero atti diretti di violenza che costituirono in prima istanza il presupposto della rivoluzione industriale. Prima si cacciavano i lavoratori dalla terra e successivamente arrivavano le pecore. La violenta occupazione della terra, quale venne praticata su larga scala in Inghilterra, aperse per prima alla grande agricoltura il suo campo di sviluppo. Nei suoi inizi questo sconvolgimento dell'agricoltura ha piú l'aspetto di una rivoluzione politica.

Come macchina, il mezzo di lavoro diventa subito il concorrente dell'operaio stesso. La autovalorizzazione del capitale sta da quel momento in diretto rapporto con il numero di operai, le cui condizioni di esistenza vengono annientate. L'intero sistema della produ-

zione capitalistica poggia sul fatto che il lavoratore vende la sua forza-lavoro come una merce. La divisione del lavoro rende unilaterale questa forza-lavoro facendone una abilità, del tutto particolarizzata, di maneggiare uno strumento parziale. Quando il maneggio dello strumento passa alla macchina, si estingue assieme al valore d'uso della forza-lavoro il suo valore di scambio. L'operaio diventa invendibile, come una banconota fuori corso. Quella parte della classe operaia che la macchina trasforma cosí in popolazione superflua, cioè non piú direttamente necessaria per la autovalorizzazione del capitale, soccombe per una parte nell'impari lotta fra la produzione industriale e quella artigianale o manifatturiera, o per un'altra parte va a inondare tutti gli altri campi piú facilmente accessibili dell'industria, facendone traboccare il mercato della manodopera ed abbassando il prezzo della forza-lavoro al disotto del suo valore. Una grande consolazione per gli operai depauperizzati dovrebbe essere il fatto che le loro sofferenze sono soltanto temporanee (*"a temporary inconvenience"*), ed il fatto che la macchina si impadronisce di tutti i campi della produzione con azione progressiva, con il che l'estensione e l'intensità della sua opera annientatrice dovrebbero diminuire. Ma queste due cause di conforto sono opposte l'una all'altra. Laddove la macchina invade a poco a poco un campo di produzione, determina una miseria cronica nelle categorie di lavoratori costretti a farle la concorrenza; laddove agisce rapidamente, opera su larga scala ed in forma acuta. La storia non offre spettacolo piú spaventoso della graduale decadenza dei tessitori artigianali inglesi di lana, decadenza che dopo essersi trascinata per lustri e lustri, è stata suggellata finalmente nel 1838...

Ma anche all'interno della grande industria, il perfezionamento della macchina e lo sviluppo dell'automatismo operano in modo analogo. "Il costante scopo del perfezionamento della macchina è quello di diminuire il lavoro manuale o di migliorare il processo produttivo della fabbrica ponendo al posto degli uomini gli apparati meccanici." L'applicazione della forza del vapore o dell'acqua a macchine che fino ad oggi erano azionate manualmente, è cosa di ogni giorno... Costantemente avvengono piccoli perfezionamenti ai macchinari, che hanno per scopo una economia di forza motrice, un miglioramento del prodotto o la sostituzione del lavoro di un ragazzo, di una donna o di un uomo, e, quantunque non sembrino cosa di gran peso, portano tuttavia ad importanti risultati." [182]

La enorme capacità che il sistema delle fabbriche possiede di espandersi a balzi, e la sua dipendenza dal mercato mondiale generano ne-

cessariamente una produzione febbrile ed un conseguente sovraccarico di mercato, la cui contrazione conduce alla paralisi. La vita dell'industria si trasforma cosí in una serie di periodi di attività media, di prosperità, di sovraproduzione, di crisi e di ristagno. L'incertezza e l'instabilità, alle quali il sistema delle macchine sottopone l'occupazione e quindi le condizioni di vita del lavoratore, diventano normali con queste periodiche variazioni del ciclo industriale. Se si escludono le epoche di prosperità, fra i capitalisti è sempre impegnata la lotta piú accanita per la conquista della loro parte individuale di spazio sul mercato. Questa parte sta in diretto rapporto con il basso prezzo dei loro prodotti. Oltre alla gara che da ciò nasce per l'impiego del macchinario piú perfezionato per soppiantare l'operaio e di nuovi metodi di produzione, si giunge sempre ad un punto al quale una riduzione del prezzo delle merci si può ottenere solo abbassando il salario al disotto del valore della forza-lavoro. [183]

L'aumento del numero di lavoratori di una fabbrica ha quindi per condizione un aumento proporzionalmente assai piú rapido del capitale investito nella fabbrica stessa. Questo processo si compie però solo entro i periodi di flusso e riflusso del ciclo industriale. Esso viene inoltre sempre interrotto dal progresso tecnico, che ora sostituisce virtualmente l'operaio, ora lo soppianta di fatto. Tale cambiamento qualitativo del funzionamento della fabbrica allontana continuamente una parte dei lavoratori dalle fabbriche e chiude le porte alle nuove reclute del lavoro, mentre il puro aumento quantitativo dell'industria assorbe continuamente oltre ai licenziati anche i nuovi contingenti. I lavoratori vengono cosí continuamente ricacciati ed attirati, spinti in un senso o nell'altro, e questo con una continua variazione di sesso, di età e di abilità negli arruolati. [184]

Marx ed il movimento di lavoratori che a lui si collegava contribuirono a far sí che lo Stato, a partire dall'ultimo quarto del XIX secolo, si sforzasse di migliorare le condizioni di lavoro e di vita dei lavoratori dell'industria, con una legislazione di politica sociale progressista.

Lo sviluppo della tecnica e dell'industria si fondavano in Inghilterra interamente sull'iniziativa privata. Il tecnico inglese si era formato con l'esperienza. La Francia creò, alla fine del XVIII secolo, nella sua École Polytechnique, un istituto che, con le scuole superiori specializzate ad esso collegate, costituiva il primo grande vivaio di una tecnica retta su basi rigorosamente scientifiche. Nell'ambito di questa scuola superiore furono istituite, nella prima metà del XIX secolo, la meccanica costruttiva e la teoria delle macchine, alle quali sono collegati i nomi di S. D. Poisson, L. M. H. Navier, G. G. Coriolis e J. V. Poncelet. Abbiamo già rilevato in precedenza come la formazione di un sistema industriale in Germania fosse anche un problema di cultura (pag. 285). In Prussia, fin dal 1817, Chr. Peter Wilhelm Beuth si era mosso per promuovere un sistema scolastico professionale. A partire dal 1825 erano sorte anche le prime scuole politecniche, fra le quali quella di Karlsruhe. Quest'ultima lasciava riconoscere nella sua costituzione una certa dipendenza dalla École Polytechnique di Parigi. A ciò si deve aggiungere lo spirito nuovo di una borghesia di sentimenti liberali e patriottici, che si dedicava al progresso tecnico con alto senso di responsabilità e che influenzò con il suo carattere la scuola stessa. Altre scuole politecniche nacquero rapidamente nelle altre capitali degli stati germanici, nel 1827 a Monaco, nel 1828 a Dresda, nel 1829 a Stoccarda, e nel 1831 ad Hannover; in esse si coltivava, particolarmente dopo la metà del secolo, una tecnica poggiante su basi scientifiche, che costituí un potente impulso per il movimento industriale nell'ambito della cultura borghese.

In Austria erano già sorti a quell'epoca alcuni istituti politecnici, come a Praga (1806) e Vienna (1815), che erano però maggiormente indirizzati alla tecnica pratica.

Alla scuola politecnica di Karlsruhe svolse la sua opera, dapprima come professore di macchine, dal 1841, e quindi come direttore, dal 1857, Ferdinand Redtenbacher.[7] Egli istituí a Karlsruhe, verso la metà del secolo, la scienza della costruzione di macchine, che, nella forma da lui dàtale, serví

di prototipo per le altre scuole politecniche. Mentre l'École Polytechnique di Parigi trattava la tecnica teoricamente, come una disciplina matematica e fisica, Redtenbacher diede origine ad una teoria autonoma delle macchine, nella quale la padronanza scientifica del mondo delle macchine veniva sviluppato da questo mondo stesso, nel senso di un pensiero puramente tecnico. Nel complesso, Redtenbacher cercava di realizzare il grande compito di formare uomini per la costituzione di uno stato industriale tedesco e di collegare la tecnica con la pratica piú strettamente di quanto non si facesse nella scuola di Parigi. In particolare, accanto alla teoria scientifica della costruzione di macchine, la pratica costruttiva non doveva venir trascurata. Ed oltre alla parte professionale specializzata, gli stava a cuore anche la "cultura del pubblico industriale in generale."

Oltre ad opere specializzate, Redtenbacher scrisse tre libri generali di tecnica delle macchine, che costituiscono una trilogia meccanica di carattere del tutto particolare. Seguendo l'ordine logico anziché quello cronologico, dobbiamo ricordare per primi i *Principi di meccanica* del 1852, che contengono la parte teorica della scienza delle macchine. Accanto ai *Principi*, Redtenbacher pose nel 1862-1865 la sua grande opera, *Costruzione di macchine*, dedicata ai problemi pratici della costruzione. E come conclusione della trilogia, Redtenbacher aveva ideato i suoi *Risultati per la costruzione di macchine*, da lui pubblicati fin dal 1848. Essi riportavano i soli risultati, senza lo svolgimento del problema, al solo scopo di fornire del materiale sia per esercitazioni, sia per la vera e propria pratica costruttiva. Nella prefazione ai suoi *Risultati*, Redtenbacher, mostrava straordinaria larghezza di vedute.

... Colui che scende nell'arena della pratica armato di soli principî generali, assomiglia ad una nave che sia dotata di timone, ma che manchi di velatura o di altro mezzo di propulsione. Il risultato del procedimento non è dubbio: con i soli principî della meccanica non si può inventare macchina alcuna, in quanto a ciò fa bisogno, oltre al talento inventivo, una esatta conoscenza dei processi meccanici ai quali la macchina deve servire. Con quei principî non si realizza alcun progetto di macchina, in quanto a ciò fa bisogno la capacità di sintesi, dell'organizzazione e della forma. Con i principî della meccanica non si può costruire alcuna macchina, in quanto a ciò fa bisogno la conoscenza pratica dei materiali da impiegare, e l'abilità nel maneggio degli strumenti e nell'esercizio delle macchine utensili. Con i principî della meccanica non si può condurre alcuna attività industriale, in quanto a ciò fa bisogno carattere, e personalità, e conoscenze commerciali. Si vede quindi che i principî della meccanica non sono affatto sufficienti per le molteplici attività della tecnica; tuttavia, usandoli con in-

telligenza, essi offrono preziosi servizi, in quanto indicano in ogni caso cosa deve accadere, determinano spesso le dimensioni principali e conducono ad un giudizio corretto; ma l'inventare, il comporre, l'ordinare, il formare e il lavorare praticamente con la lima ed il tornio sono cose che esorbitano dal loro campo.

Una scuola, che voglia dare una preparazione adatta per seguire il ramo tecnico-meccanico, non deve quindi assolutamente seguire una direzione scientifica unilaterale, ma deve tendere a risvegliare e ad esercitare tutte le forze che rivestono importanza per la professione di un disegnatore, di un costruttore, di un ingegnere o di un fabbricante. [185]

A parte quanto ordinano il sentimento, la religione o la filosofia, anche il solo egoismo e il normale desiderio di guadagno ci inducono a non adoperare in ogni caso l'uomo come motore, ma, dove è possibile, a sostituirlo con un motore di natura inorganica.

Nell'antichità non esistevano la fisica, la chimica, la meccanica (come scienza), non si presagiva il fatto che in natura esistessero tante forze che potessero essere utilizzate per compiere lavori che servissero all'uomo; di qui il generale ricorso al lavoro degli schiavi, che anche nell'epoca moderna non è interamente sparito, anche se almeno non viene considerato piú come una cosa normale, ma solo come una cosa che sussiste ancora di fatto, in parte, mentre si cerca per quanto è possibile di eliminarlo. La fisica, la tecnica ed il cristianesimo hanno fatto sí che il lavoro sia diventato una libera attività, che la forza dell'uomo non venga usata come pura forza motrice, anzi sia impiegata quando un lavoro non esige solo la pura forza fisica, ma anche un'intelligenza che non può essere sostituita da una macchina. Il giardinaggio viene curato dal lavoro dell'uomo; l'agricoltura dagli animali da tiro, sotto la direzione dell'uomo. I colossali lavori richiesti dalla costruzione delle ferrovie vengono eseguiti in parte dagli animali da tiro, ma preferenzialmente dall'attività degli uomini, in quanto non si possiede ancora, e forse non si possiederanno neanche in seguito, i mezzi adatti per far compiere a motori di natura inorganica, privi di ragione, questi lavori. Nell'attività industriale l'uomo non viene assolutamente piú impiegato come semplice motore, ma compie soltanto quei lavori che non possono venir eseguiti da macchine: ovvero regola, conduce e dirige una macchina azionata dal vapore o dall'acqua. L'uomo costituisce un motore piú debole e piú costoso, ma in pari tempo dotato di un'intelligenza, se pure in qualche caso non molto sviluppata. Grazie alla costituzione del suo corpo e del suo spirito,

egli è una macchina universale, capace di compiere una infinità di funzioni e movimenti; è un motore che si trasporta da solo, può recarsi da solo sul luogo di lavoro, può a suo volere incominciare, sospendere o terminare il lavoro, può a seconda delle esigenze passare da un'attività ad un'altra, può provvedere ai vari disturbi e inconvenienti cui è accidentalmente soggetta ogni attività, e fornisce quindi una grande molteplicità di prestazione, in cui non può essere sostituito da nessuna altra forza. Il lavoro dell'uomo è però, e resta, poco vantaggioso nei casi in cui si tratta di sviluppare forze assai ingenti oppure nei casi in cui è richiesto un alto grado di uniformità. Il filare, il tessere, il tornire, il piallare, il limare, ecc. sono attività che forniscono un risultato tanto migliore, quanto piú uniformemente vengono svolte: quindi in questi casi il lavoro delle macchine è da preferire al lavoro manuale, in quanto anche la piú grande abilità di un lavoratore manuale non può giungere a tanta uniformità quanta si può ottenerne con grande facilità da una macchina ben costruita. [186]

Numerose cose che la natura spontaneamente produce, quando escono dall'attività delle forze naturali non sono in uno stato tale da poter essere senz'altro impiegate dagli uomini. Per poter servire da nutrimento o da vestiario od altro, devono venir modificate o trasformate, e a questo fine sono spesso necessarie forze che l'uomo in se stesso non è in grado di sviluppare. Anche in questo caso però la ragione sa trovare la soluzione: riconosce anzitutto la presenza delle potenti energie che sono celate nelle correnti d'acqua e nel vapore acqueo, e sa quindi ricavare i mezzi con i quali costringere queste potenze, senza alterarle nella loro intima essenza, a produrre proprio le modificazioni desiderate nei prodotti della natura. L'acqua di un ruscello viene costretta a far ridurre in farina il frumento, se la si convoglia ad una ruota idraulica che sia collegata ad una macina. Cosí nasce la tecnica meccanica.

Questa capacità di convogliare, dominare e regolare le forze della natura, e di costringerle in tal guisa a lavorare per noi, ha assunto soprattutto nella nostra epoca una grande importanza. Questa capacità è stata portata in poco tempo ad un alto grado di perfezione, e la storia non mancherà certo di riconoscere quale sia stato a questo riguardo il contributo della prima metà del XIX secolo. Purtroppo in tutto questo fermento di tecnica molte cose sono state trascurate o del tutto ignorate fra quanto doveva essere oggetto di cure e di studi profondi, per giungere ad una situazione soddisfacente, e cosí è successo che parte dei frutti di questa attività sono assai da deplorare.

L'esperienza, un'amara esperienza, insegnerà anche in questo caso a fare un uso piú ragionato e saggio di tanta maestria nell'attività tecnica, e si può quindi sperare con fiducia che la tecnica che ne nascerà opererà a benedizione e salvezza, e non a maledizione degli uomini. [187]

Quel particolare senso tecnico che consente di realizzare le combinazioni meccaniche, veniva cosí descritto da Redtenbacher:

I molti meccanismi di movimento, di cui ci si avvale per la costruzione delle macchine operatrici, non hanno bisogno di essere inventati ogni volta di bel nuovo. Ciò era tuttavia necessario al tempo in cui furono inventate le macchine per filare e le macchine a vapore, in quanto a quell'epoca i meccanismi per la trasformazione del moto erano assai poco conosciuti; oggigiorno invece se ne conosce un gran numero, e di regola se ne trova sempre uno o un altro che si possano utilmente impiegare nel caso che si presenta, per modo che solo per condizioni di moto del tutto straordinarie c'è bisogno di invenzioni completamente nuove. Una conoscenza accurata e completa dei meccanismi già inventati è pertanto estremamente importante per la costruzione delle macchine. Le conoscenze scientifiche vere e proprie sono di ben poco aiuto in questo campo, in quanto le combinazioni meccaniche possono essere realizzate non attraverso una riflessione generale, ma solo con capacità del tutto particolari, quali il senso della forma, il senso dell'ordinamento e il senso della composizione. Chi è dotato di queste facoltà, e le ha sviluppate attraverso molti esercizi, quindi, anche se quasi del tutto privo di preparazione culturale, potrà trovare numerose, varie e ingegnose invenzioni, e colui al quale quelle facoltà mancano, anche se dotato di notevoli e multilaterali attitudini, non riuscirà ad inventare neanche il piú semplice dei meccanismi. [188]

Un mezzo di grande importanza per l'attività tecnico-scientifica fu, accanto al calcolo infinitesimale, la geometria analitica. Essa ebbe la sua prima trattazione sistematica nel 1799 ad opera di G. Monge, l'organizzatore dell'École Polytechnique. J. N. P. Hachette, insegnante in tale scuola superiore di tecnica, impiegò per primo nel 1811 i metodi di questa geometria descrittiva su larga scala nella costruzione di macchine. Nei suoi *Principi* Redtenbacher rilevava nel 1852 la necessità del disegno tecnico per la costruzione di macchine.

Il disegno costituisce per il meccanico un mezzo mediante il quale egli può rappresentare con chiarezza, acutezza e rigore i suoi pensieri e le sue riflessioni, in modo da non lasciare niente da desiderare. Una macchina disegnata è come una realizzazione ideale della stessa, ma fatta con un materiale che costa meno e si lascia trattare assai piú facilmente del ferro o dell'acciaio.

Il disegnare una macchina richiede una quantità di tempo e di fatica assolutamente trascurabili in paragone a quelli necessari per costruire effettivamente la macchina con ferro e acciaio, specialmente se si tiene conto dei vantaggi che l'aver disegnato la macchina presenta agli effetti della sua progettazione e della sua costruzione.

Una volta che si sia pensato bene a tutto, e che si siano stabilite le dimensioni fondamentali mediante il calcolo o l'esperienza si fa presto a fare sulla carta il progetto di una macchina o di un impianto, e si può quindi sottoporre alla critica piú sottile il complesso, ed i suoi singoli particolari, con tutta comodità. Se si trova che il complesso non è soddisfacente, l'intero progetto viene messo da parte, e se ne può approntare rapidamente un altro migliore. Se si trova che sono invece opportune o necessarie alcune modifiche di particolari, le parti da modificare vengono rapidamente tolte di mezzo e sostituite con altre migliori. Se fin dall'inizio si è in dubbio su quale possa essere la migliore fra diverse disposizioni, le si possono disegnare tutte, paragone fra di loro e scegliere quindi facilmente la piú opportuna.

Ma il disegno non è solo estremamente importante per il progetto, bensí anche per la costruzione vera e propria, in quanto con questo metodo le dimensioni e la forma di tutte le parti sono fissate in modo esatto e sicuro fin dal principio, di modo che la costruzione consiste solo nel riprodurre con il materiale di costruzione esattamente tutto quanto il disegno rappresenta. Ciascuna parte costituente la macchina può in generale venir costruita indipendentemente dalle altre; in tal modo è possibile suddividere il complesso del lavoro fra un gran numero di operai, ed organizzare l'intera costruzione in modo che tutti i lavori possano venir eseguiti a tempo debito, nel luogo piú appropriato, con il minimo impiego di tempo e di denaro e di materiale, ed infine con una esattezza e sicurezza che non lascino nulla a desiderare. Con una simile procedura non è possibile che si compiano errori molto gravi, e se comunque una volta o l'altra capita che si trovi un errore, si sa subito a chi attribuirne la colpa. [189]

Nello spirito di Redtenbacher, le scuole tecniche superiori tedesche divennero luoghi di ricerca e di insegnamento, pur tenendo sempre presenti le necessità della creazione tecnica pratica. L'ascesa della tecnica tedesca dopo la metà del XIX secolo è opera anche delle scuole tecniche superiori germaniche.

Parte settima

La tecnica come potenza mondiale

Il sorgere della tecnica americana

A partire dalla seconda metà del secolo XIX, la tecnica si diffuse a passi di gigante su vaste regioni del globo terrestre. La tecnica moderna, creazione dell'Occidente, fu accolta e ulteriormente sviluppata non solo sul continente americano, abitato da gruppi di provenienza europea, ma anche presso popoli che mancavano dei presupposti necessari per poter sviluppare gradualmente una tecnica loro propria, come era invece avvenuto per l'Occidente. Spengler considera il fatto che l'Occidente abbia reso partecipi della tecnica altri popoli come un "tradimento della tecnica." La tecnica, nelle mani d'altri, si rivolgerà contro l'Occidente stesso.[1]

Nel 1868, con l'ascesa al potere dell'imperatore Mutsuhito (Meiji), il Giappone spalancò le porte, per decreto imperiale, alla scienza e alla tecnica europea. Lo stato prese ad esercitare una potente spinta per la costituzione di un'industria ispirata ai modelli europei. Specialmente dopo la prima guerra mondiale il potenziale industriale del Giappone aumentò straordinariamente. Nel 1863 l'Impero disponeva soltanto di una filanda di cotone con 6.000 fusi; nel 1914 funzionavano 2.700.000 fusi, e nel 1934 circa 8 milioni e 800.000. La partecipazione del Giappone al commercio mondiale raggiungeva nel 1900 quasi l'1%; nel 1930 era salita al 3,5%.[2]

Con l'ascesa della potenza sovietica dopo la prima guerra mondiale ebbe inizio in Russia, dove era stato accolto e discusso da tempo il pensiero occidentale dell'illuminismo, del liberalismo, del socialismo e del progresso tecnico, una intensa industrializzazione, favorita dall'abbondanza dei prodotti del sottosuolo. Si voleva trasformare un arretrato stato agricolo in uno stato industriale altamente sviluppato. Lenin sostenne con energia fin dal 1920 l'elettrificazione della Russia: impresa, diceva, "enormemente utile" e addirittura "indispensabile."[3] La produzione industriale della Russia sovietica era già nel 1938 nove volte maggiore che nel 1913.

In nessun luogo però la tecnica occidentale riuscí a piantare radici tanto potenti ed a svilupparsi in modo tanto autonomo, fuori dell'Europa, come nella giovane America. Il processo di tecnicizzazione e industrializ-

zazione incominciò dopo che le colonie americane avevano ottenuto, nel 1783, l'indipendenza dall'Inghilterra. Il puritanesimo degli emigrati inglesi rappresentò una vera e propria forza di propulsione. I mezzi tecnici, fra cui le navi a vapore, le ferrovie ed il telegrafo, furono di importanza capitale per l'espansione verso il West. La tecnica era in tal modo strettamente collegata con la crescita del giovane stato. Particolarmente dopo la guerra di secessione (1861-1865) la tecnica ricevette un forte impulso. Gli americani furono spinti fin dagli inizi ad un ampio impiego delle macchine nell'agricoltura, in quanto ben poche forze di lavoro erano disponibili per gli immensi territori agricoli. Questo sviluppo iniziò già nel 1834, con l'invenzione della falciatrice meccanica ad opera di Cyrus McCormick. Al processo di tecnicizzazione partecipò in larga misura il capitale europeo. Solo dopo la prima guerra mondiale l'America divenne, da stato debitore, il maggior stato creditore del mondo. L'ascesa industriale estremamente rapida dell'America del Nord si rispecchia nell'aumento di valore dei prodotti industriali americani, che crebbe di 33 volte dal 1859 al 1919.[4] Nello stesso periodo di tempo la popolazione del paese si triplicò ed il numero delle persone occupate nell'industria passò da 1.300.000 a 9.100.000, aumentando dunque di sette volte. Nel 1919 quindi, in paragone al 1859, una produzione 33 volte maggiore occupava una forza di lavoro 7 volte superiore: da questi numeri traspare la progressiva sostituzione delle macchine al lavoro dell'uomo.

Quando, nel 1876, fu organizzata per la prima volta, sul continente americano, a Filadelfia, una grande esposizione mondiale, espressione tipica dello sviluppo industriale e della fede borghese nel progresso, l'Europa fu scossa dai reportages che giunsero su tale avvenimento; poiché ci si accorse che malgrado tutto la giovane America era sul punto di superare l'Europa nel campo della tecnica. Particolare ammirazione suscitò l'applicazione alla fabbricazione delle macchine a vapore del principio della intercambiabilità dei pezzi (che era stato introdotto sino allora solo nelle fabbriche di armi, da E. Whitney, nel 1800); dopo il 1850 tale principio fu applicato anche alla fabbricazione delle macchine per cucire; sorprendeva l'intensa automatizzazione del processo di produzione industriale, si restava stupiti dinanzi alle gigantesche macchine a vapore di Corliss (tavv. XXVIII, XXIX). Franz Reuleaux scriveva a quell'epoca nelle sue *Lettere da Filadelfia*:

Ciò che già nel 1867 era stato osservato a Parigi, ciò che poi era apparso a Vienna, si mostra qui ora in tutta la sua misura: l'America del Nord ha incominciato ad occupare uno dei primi posti, ed in parte si può dire addirittura il primissimo posto, nella costruzione delle macchine. Dapprima ha perfezionato la macchina a vapore in alcuni dettagli, quindi ha saputo dare al suo aspetto esterno una forma

Bernardino Barbatelli, detto Poccetti, *Studio dell'architetto*. XVI secolo.

tale che meraviglia per la sua perfezione: cosa assai indicativa, poiché laddove si pensa a perfezionare la bellezza della forma, la si fa oggetto di studi e di critiche, evidentemente devono già esser superate le difficoltà relative alla progettazione della parte piú propriamente meccanica, o almeno si deve essere giunti a una certa sicurezza e tranquillità in merito. Anche il sistema di produzione delle macchine è stato assai perfezionato. Molte ditte infatti esponevano macchine a vapore di diversa grandezza, le cui parti erano prodotte automaticamente a macchina in serie e potevano venir quindi intercambiate; altrettanto dicasi dei pezzi delle macchine per cucire costruite da molte ditte americane e tedesche. L'industria meccanica americana è rappresentata assai brillantemente anche nel campo della costruzione di macchine utensili. Essa qui può vantare un primato che non vale solo nell'ambito dell'esposizione. Una grande ricchezza di nuove idee, un adattamento estremamente abile alle particolari esigenze di ogni lavoro, una sempre crescente precisione nell'esecuzione di pezzi singoli, una progressiva eleganza della forma esteriore caratterizzano la produzione americana in questo campo. La Germania è forse la sola ad aver la possibilità di competere con i costruttori di macchine utensili di quaggiú. La costruzione delle macchine utensili richiede un'inclinazione ed un interesse per tutti i progressi della tecnologia che ben si addicono al carattere tedesco, e che già han dato i loro frutti presso di noi; naturalmente però solo la diligenza piú rigorosa e l'unione di tutti gli sforzi ci metteranno in grado di recuperare lo svantaggio nel quale l'America ci ha posto. Solo da poco tempo avevamo fatto nostri i tipi di utensili ideati dall'Inghilterra, e li avevamo anzi perfezionati ed avevamo quindi incominciato a reggerci sui nostri propri piedi: stava a poco a poco sorgendo un tipo tedesco di macchina utensile. Ora però l'America ha detronizzato l'Inghilterra con idee del tutto nuove, e noi dobbiamo senza indugio adattarci al nuovo sistema se non vogliamo essere superati. Sono già noti alcuni eccellenti inizi: certo però per lunghissimo tempo non avremo pace, dovremo instancabilmente lavorare, solo per riuscire ad affiancarci agli altri. [190]

L'industria tedesca deve rinunciare al principio della concorrenza basata soltanto sui prezzi, e decidersi a percorrere la via della concorrenza sulla qualità e sul valore. Tuttavia, per produrre merci economiche e ben commerciabili, l'industria tedesca deve affidarsi alle macchine, o in generale agli apparecchi tecnico-scientifici, in tutti quei casi in cui si può con essi vantaggiosamente sostituire il lavoro manuale, ossia valgono ad alleggerire o ad eliminare gli sforzi fisici, o quando

il processo produttivo si basa sulla continua ripetizione di un modello; si devono invece impiegare le facoltà intellettuali e l'abilità dell'operaio per la finitura del prodotto, e tanto maggiormente quanto piú questa si avvicina all'arte. [191]

Lo svizzero A. Göldy riferisce con entusiastiche parole quanto ha visto nel reparto americano della meccanica all'esposizione universale di Filadelfia.

Una delle cose che piú colpiscono nel reparto americano della meccanica è la diversità degli attrezzi speciali escogitati per tutti i lavori possibili e immaginabili. Anche qui la ditta che emerge è la William Sellers & Co. Un esempio è costituito dal tornio per metalli, per la fabbricazione di iniettori d'acqua: è una combinazione della piú fine intelligenza applicata ad uno scopo pratico, concreto; consente ad un operaio intelligente di produrre assai piú, a parità di tempo, che non con l'usuale banco a slitta, mentre al tempo stesso l'esattezza del lavoro diventa assai piú indipendente dall'operaio. Questa specie di macchine verrà a poco a poco introdotta in tutti i paesi, in quanto riduce le spese di produzione. La macchina di Seller per la fabbricazione degli ingranaggi è nota quasi dovunque in Europa; essa opera in modo completamente e stupefacentemente automatico: riceve il lavoro e lo porta a termine, e procede da una operazione all'altra, senza che sia necessario un solo operaio. Un uomo può sorvegliare quattro o cinque macchine, ed occuparsi anche d'altro nei ritagli di tempo.

A poco a poco si dovrà risolvere in tutte le macchine utensili questo problema: che l'intelligenza dell'operaio diriga, e lo schiavo d'acciaio compia il lavoro. [192]

Se il nostro spirito si ferma a considerare le idee e le realizzazioni mostrate nella meravigliosa esposizione americana, può mancare di rendersi conto di un importante cambiamento avvenire. Le forze di produzione delle macchine automatiche si svilupperanno con gran rapidità e diverranno imponenti, e riverseranno sull'intera umanità una grande abbondanza di prodotti che, vogliamo sperare, rappresenteranno per essa una benedizione. [193]

Un altro cronista, il tedesco F. Goldschmidt, rileva che particolarmente quattro fattori hanno determinato il progresso della tecnica americana: la tendenza a sostituire il lavoro dell'uomo con la macchina, la tendenza al pratico, l'estesa suddivisione del lavoro, una buona legislazione sui brevetti.

Ci rivolgiamo ora al cuore dell'esposizione, alla sala delle macchine, una potente e ariosa costruzione in vetro e ferro, ove piú che altrove si può udire il battito di una instancabile attività produttiva. Qui la diligenza, l'energia, e l'inventività dei nordamericani celebrano il loro trionfo su tutto quanto gli altri popoli hanno mai prodotto nel campo dell'invenzione e della realizzazione costruttiva delle macchine; qui, fra centinaia di migliaia di ruote che ronzano e di alberi che ruotano, che si muovono e trasmettono il moto dopo averlo ricevuto da un gigantesco volano, azionato da due potenti macchine a vapore, si potevano vedere quelle macchine di sollevamento che servono ad estrarre i minerali, si potevano vedere pompe, motori di ogni tipo, macchine utensili ed apparecchi, macchine di tutte le grandezze e di tutte le specie, che servono a soddisfare i bisogni della nostra esistenza: anzi si poteva veder tutto ciò svilupparsi davanti ai nostri occhi. L'elemento vitale dei nordamericani, la macchina, con la quale essi possono sostituire il faticoso lavoro delle braccia, produrre in massa tante cose e creare in breve tempo tante ricchezze, si presentava in modo imponente ai visitatori. L'assoluto dominio della materia si rivela nell'incessante movimento, è una caccia scatenata, alla quale servono tutte le forze: la caccia al guadagno; ma in tutto ciò sta una grandiosità, una potenza che nessuno può negare.

Vien spontaneo il desiderio di osservare da vicino questo popolo che è stato capace di creare tanta potenza, questo popolo che possiede una attività di traffici ed un'industria quale nessun altro popolo può vantare. Guardiamo indietro nel tempo, all'epoca che precedette quella Dichiarazione d'Indipendenza che l'esposizione si propone di celebrare. Vediamo allora una piccola schiera di pionieri che si apre faticosamente la strada attraverso regioni selvagge con l'ascia e con il fucile spianato. Li osteggiano all'interno gli indiani, al Nord i Francesi, e piú tardi gli Inglesi, a Sud gli Spagnoli. Ma fra queste lotte e questi ostacoli innumerevoli si rinvigorirono il valore dell'uomo ed il senso di indipendenza che costituirono la maggior eredità per le generazioni successive. Per i nuovi immigrati, che affluirono a schiere su quella terra che lasciava scoprire sempre nuove ricchezze, la lotta contro le forze selvagge della natura, la dura lotta per l'esistenza, costituí l'elemento primo della loro forza spirituale e del loro sviluppo. Le città sorgevano rapidamente, si creavano canali e ferrovie, si costruivano fabbriche. Ma scarseggiano le forze del lavoro, quelle disponibili sono troppo care, diventa un'inderogabile necessità la sostituzione delle braccia di carne e sangue con braccia di ferro e d'acciaio, che non

si stancano mai e compiono in un attimo ciò che quelle riescono a fare solo lentamente e con fatica; altrimenti occorrerebbe fermarsi a metà strada o abbandonare la via intrapresa.

Il tipo di educazione proprio dei nordamericani, che consiste nell'indirizzare ciascuno fin da giovane verso una particolare attività, concentrando verso un solo punto tutti i suoi pensieri (non deve pertanto sorprendere la mancanza di cultura generale negli americani), si è dimostrato favorevole all'inclinazione per le invenzioni, e alla giusta suddivisione del lavoro, cui nell'ambito dell'industria tedesca si dà troppo poca importanza. Con ciò non si deve pensare che si tratti di restringere o limitare le vedute di un industriale o di un operaio; niente di meno vero si può pensare degli Americani. Ma quando l'industriale e l'operaio vanno al di là dell'entità del capitale disponibile, o delle loro attitudini mentali, o della loro capacità tecnica, devono per forza disperdersi, e invece di compiere qualcosa di perfetto in un campo piú o meno ristretto, finiscono per compiere solo qualcosa di mediocre. Una legislazione sui brevetti industriali che sicuramente non è perfetta, ma che tuttavia è buona e ben operante, protegge l'inventore da imitazioni non autorizzate, e gli assicura la prospettiva di godere egli stesso i frutti dei suoi studi e della sua diligenza. Questi quattro fattori, la possibilità di sostituire in ogni campo le macchine alle forze del lavoro umano, l'istruzione rivolta alla pratica, la suddivisione del lavoro, ed una buona legislazione sui brevetti, hanno contribuito insieme a portare la meccanica al posto di preminenza che oggi occupa, ed a provocare quelle piccole e grandi invenzioni che danno luogo continuamente a nuove imprese ed a nuove creazioni.

Il ramo piú importante dell'industria meccanica è certo quello che si occupa della fabbricazione delle macchine a vapore, e cioè di quelle macchine che sono soprattutto destinate a fornire forza motrice ad altre macchine. Tale tipo di macchina era rappresentata all'esposizione di Filadelfia da innumerevoli esemplari, d'ogni forma e grandezza, e di tutte le specie. Uno spettacolo imponente era offerto dalla macchina a vapore di Corliss (tav. XXIX), composta di due parti, e montata su un apposito piedestallo nel mezzo della sala; è cosí chiamata dal nome del costruttore e inventore del principio in essa applicato, un industriale di Providence nel Rhode Island. Questa duplice gigante aveva una potenza di 1500 cavalli...

Vicino alla macchina a vapore c'erano anche altre macchine motrici, in gran numero, e precisamente quelle in cui la forza motrice è prodotta dal gas o dal petrolio. Qui si deve ricordare per la nostra

gioia, il fatto che nel padiglione tedesco fosse montato un motore a gas di una ditta di Deutz, presso Colonia, giudicata dagli esperti la macchina migliore in questo campo, e quella che consuma minor combustibile...

Ovunque si posasse lo sguardo, si notava l'attiva ricerca di sottrarre all'uomo il lavoro puramente meccanico, e di impiegarlo invece soltanto dove si tratta di dar forma e aspetto artistico alle cose. Pensate alla nostra fabbricazione di chiodi: quanto deprimente e faticoso è il lavoro, e quanto poco riesce a produrre un operaio — forse 100 chiodi al giorno! In America questa attività non esiste piú, i chiodi vengono prodotti a macchina. Le macchine utensili e le macchine operatrici americane, che provvedono a tutte le necessità dell'attività industriale, producono utensili, perni, dadi, alberi, e sono dei veri modelli del genere. [194]

Il giro che abbiamo compiuto attraverso l'edificio principale ci ha mostrato che anche in molti altri campi d'attività industriale l'America ci ha superato: è giunta in poco tempo ad un'altezza che i paesi europei non immaginavano neppure, e che ha riempito di giusto stupore la maggior parte di noi che abbiamo potuto conoscere le condizioni d'oltre oceano. L'industria americana si trova in uno stato di continua espansione, sia riguardo all'eccellenza delle sue realizzazioni, sia riguardo alla loro estensione. [195]

Nell'America del Nord, l'aumentato bisogno di macchine, provocato dalla scarsità di forze lavorative, ha portato prima che in Europa alla produzione di massa. Gli inizi della fabbricazione in serie di alcuni singoli oggetti semplici risalgono già alla fine del Medioevo. Si possono ricordare a questo proposito la produzione di caratteri da stampa mediante strumenti per colare realizzati da Gutenberg, o la produzione in serie di oggetti d'uso in ottone fuso, a Milano, durante la prima metà del XVI secolo, di cui ci parla V. Biringuccio nel 1540 (vedi pag. 146).[5] Ma solo nella seconda metà del XIX secolo, dopo il perfezionamento delle macchine utensili, il metodo della produzione in massa di oggetti complessi, principalmente di macchine, si affermò largamente, specie in America. L'alto grado di precisione con il quale si era ora in grado di lavorare i pezzi sulle nuove macchine utensili consentiva l'intercambiabilità delle singole parti, essenziale per la produzione in serie. Si potevano fabbricare in serie armi, orologi, macchine per cucire e, a partire dalla fine del secolo, anche biciclette. Per l'esatta e rapida lavorazione di singole parti soggette a forti sollecitazioni, particolarmente nella fabbricazione di armi, ebbe grande importanza l'introduzione, a partire dal 1870, di utensili in lega d'acciaio.

Alla fine del XIX secolo si incominciò ad applicare in America l'organizzazione del lavoro nei processi di produzione meccanica, in base ai risultati di accurati studi sui tempi e sui movimenti. A partire dalla fine del secolo, particolare importanza ebbe il sistema razionale-scientifico di organizzazione del lavoro di Frederick W. Taylor.[6] Anche gli inizi della meccanizzazione del sistema di trasporto dei materiali e dei pezzi di lavorazione mediante nastri scorrevoli vanno ricercati in America alla fine del XIX secolo. Una relazione dell'anno 1890 ci parla di un *sistema americano di lavorazione con produzione continua* per piccoli pezzi fusi per freni ferroviari:

... L'impianto è stato realizzato per la produzione di piccoli pezzi fusi per la compagnia Westinghouse. I freni ad aria compressa per treni ed i complicati meccanismi per scambi e segnali, dei quali si occupa questa società, richiedono una gran quantità di piccoli pezzi. L'impianto di fusione al quale ci riferiamo è particolarmente adatto per la produzione di questi piccoli pezzi (tav. XXX).

La sua caratteristica fondamentale è costituita da una serie di 158 banchi, che scorrono su ruote e sono collegati fra loro, cosí da formare una catena ininterrotta. Questi banchi scorrono su un binario ininterrotto che va e viene dalla fonderia principale attraverso una sala piú piccola attigua a quella della fonderia e delle forme; essi portano le forme da dove vengon plasmate a dove ricevono la colata e alla sala dove vengono rimosse. In tali reparti i pezzi di fusione vengono liberati dalle forme. La disposizione delle ruote e del binario è tutta particolare. La parte anteriore del banco poggia su due ruote, ciascuna delle quali gira entro un cavalletto di sostegno posto sotto al banco stesso, cosí da essere mantenuta ad un opportuno livello dal suolo. Una sola ruota piú piccola, fissata alla superficie del banco, regge la parte interna del banco e corre su una rotaia sopraelevata, che poggia su basse colonne, lungo la catena. Le ruote interne scorrono su questa rotaia in modo che il banco venga mantenuto orizzontale. La rotaia sopraelevata si curva a semicerchio ad entrambe le estremità della catena, determinando cosí un circuito chiuso. All'estremità prossima all'osservatore è disposto un albero verticale che va dal pavimento al soffitto. Nella parte superiore questo albero è collegato ad un controalbero e ad un giunto a frizione. Sotto il piano del banco l'albero verticale è collegato ad una ruota a catena. L'albero sta nel gomito formato dalla rotaia incurvata. La ruota dentata ingrana nella catena continua al disotto del loro piano di lavoro. Quando l'albero vien fatto ruotare, esso pone in movimento la catena...

Da un lato della fonderia è disposto il tavolo delle forme con la macchina relativa. Una canaletta di trasporto arriva a questo tavolo dal locale retrostante... La canaletta viene riempita di terra di fonderia, che viene cosí convogliata sul tavolo delle forme e qui depositata per essere impiegata. Nel locale retrostante è disposta una catena a cucchiai che apporta la terra di fonderia alla canaletta. Sul lato opposto al tavolo delle forme, vicino alla catena dei banchi mobili, sono disposti i forni a cupola nei quali vien fuso il metallo.

L'impianto funziona come appresso indicato: l'operaio addetto alle forme le prepara con ritmo assai veloce, servendosi dell'apposita macchina. Non appena la forma è pronta, l'operaio la pone su uno dei banchi mobili, che si muovono continuamente dietro a lui in direzione dei forni a cupola. La forma percorre la curva, finché arriva ai fonditori. Questi colano il metallo nella forma, mentre questa continua nel suo movimento. Se è necessario, si può fermare anche l'intera catena di banchi per questo scopo.

La forma, che è ora piena di metallo fuso, continua nella sua corsa e perviene nella sala retrostante. Lí essa viene tolta dal banco, ed il pezzo di fusione viene liberato dalla terra della forma. La terra viene gettata in un vaglio rotante, e quindi sollevata fino alla canaletta di trasporto, che la riporta al banco delle forme... [196]

Il sistema dei nastri trasportatori mobili fu impiegato su grande scala da Henry Ford nella produzione in serie di automobili a partire dal 1913. Dopo la prima guerra mondiale questo sistema guadagnò altro terreno. Ford ce ne parla nella sua autobiografia, del 1922.

Press'a poco il 1° aprile 1913 abbiamo fatto la nostra prima esperienza con una catena di montaggio. Si tratta del montaggio dei magneti. Tutti gli esperimenti vengono da noi provati anzitutto in piccolo. Quando abbiamo trovato un miglior metodo di lavoro, non abbiamo alcun timore ad intraprendere delle modifiche anche sostanziali, ma prima di passare ad apportare cambiamenti fondamentali dobbiamo esserci perfettamente persausi che il nuovo metodo è veramente migliore.

Credo che si trattasse della prima catena di montaggio che mai fosse stata realizzata. Come principio essa ricordava la catena di cui si servono i commercianti di carne di Chicago per il taglio dei manzi. Prima, quando da noi l'intero processo produttivo era ancora in mano ad un unico operaio, questi era in grado di approntare da trentacin-

que a quaranta magneti in un giorno di nove ore lavorative, vale a dire gli occorrevano circa venti minuti per ogni magnete. Piú tardi il suo lavoro fu suddiviso in ventinove diverse prestazioni, riducendo cosí il tempo di produzione a 13 minuti e 10 secondi. Nell'anno 1914 alzammo la catena di otto pollici, con il che il tempo fu ridotto a sette minuti. Ulteriori ricerche sul ritmo del lavoro da compiere fecero diminuire ancora il tempo d'esecuzione a cinque minuti. In breve, il risultato è il seguente: con l'aiuto delle ricerche scientifiche, un operaio è oggi in grado di compiere quattro volte piú lavoro di quel che era in grado di compiere solo pochi anni addietro. Il montaggio del motore, che prima veniva compiuto da un solo operaio, è oggi suddiviso in 48 singole operazioni, mentre i relativi lavoratori compiono tre volte piú lavoro di quanto non ne potessero eseguire prima. Presto tenteremo di far lo stesso con lo chassis.

La miglior prestazione che siamo riusciti ad ottenere con il montaggio stazionario dello chassis era in media di dodici ore ed otto minuti per chassis. Abbiamo fatto la prova di trascinare lo chassis con argani e guide per un tratto di 250 piedi; sei montatori avanzavano con esso e nel passare raccoglievano le parti da applicare, disposte lungo il percorso. Questo primo grossolano esperimento valse già a diminuire il tempo a cinque ore e cinquanta minuti per ogni chassis. All'inizio del 1914 ponemmo piú in alto il percorso di montaggio. Avevamo intanto introdotto il principio della ripartizione del lavoro. Una catena di montaggio si trovava 26 pollici e ¾ sopra il livello del suolo, l'altra a 24 e ½, per adattarsi meglio alle diverse linee di lavoro. L'aver alzato il piano di lavoro all'altezza delle braccia, e un'ulteriore suddivisione delle operazioni da eseguire, di modo che ciascun operaio avesse da compiere un numero sempre minore di operazioni, portarono il tempo di lavoro a un'ora e 33 minuti per ciascuno chassis. Allora veniva costruito in serie il solo chassis. Il montaggio delle parti superiori avveniva alla John-R. Street, la famosa strada che attraversa il nostro stabilimento di Inghland-Park. Oggi l'intera automobile viene fabbricata sullo stesso principio.

Non si creda che tutto ciò si sia svolto cosí rapidamente e facilmente come ora si racconta. Si dovette dapprima verificare accuratamente il ritmo di esecuzione del lavoro; nel magnete avevamo dapprima una velocità di avanzamento di 60 pollici al minuto. Tale velocità era troppo elevata. Si provò quindi con 18 pollici al minuto, e tale velocità risultò a sua volta troppo bassa. Stabilimmo quindi il ritmo di lavoro a 44 pollici al minuto. La prima condizione è che

nessun operaio deve venir troppo sollecitato nel suo lavoro, ciascun secondo che gli abbisogna gli deve venir concesso, e nessun altro in piú. Dopo che il sorprendente successo ottenuto nel montaggio dello chassis ci aveva indotti a riorganizzare tutto il nostro sistema di produzione ad azionamento meccanico, abbiamo determinato per ciassun lavoro di montaggio il giusto ritmo di lavoro. La catena di montaggio dello chassis, ad esempio, si muove alla velocità di 6 piedi al minuto, la catena di montaggio dell'asse anteriore si muove a 148 pollici al minuto. Nel montaggio dello chassis ci sono quarantacinque diverse operazioni da compiere, e sono previste altrettante stazioni. Il primo gruppo di lavoro fissa al telaio dello chassis quattro lamiere di protezione; il motore entra in campo alla decima stazione, e cosí via. Alcuni lavoratori compiono soltanto una o due piccole operazioni, altri un numero maggiore. L'operaio, al quale spetta di mettere a posto un certo pezzo, non lo fissa, ed il pezzo stesso viene fissato magari soltanto dopo molte altre operazioni. L'uomo che introduce il bullone, *non* sistema anche il dado; quello che sistema il dado, *non* provvede anche ad avvitarlo. Con l'operazione n. 34, il nuovo motore viene provvisto di benzina, con l'operazione n. 44 il radiatore viene riempito d'acqua, e con l'operazione n. 45 la macchina completa esce sulla John-R. Street.

Esattamente gli stessi criteri venivano seguiti anche nel montaggio del motore. Nell'ottobre del 1913, la costruzione di un motore richiedeva 9 e 9/10 ore lavorative; sei mesi piú tardi, grazie all'introduzione delle catene di montaggio mobili il tempo era sceso a 5 ore e 14/15. Nella nostra fabbrica ogni singolo pezzo è in movimento; o scorre in grandi catene, ad altezza d'uomo, verso il montaggio, o si muove su catene a rulli, o cade per forza di gravità. È degno di nota il fatto che, salvo per le materie prime, nulla viene sollevato o trascinato. I materiali vengono portati dove bisogna in carrelli o slitte, usando chassis Ford in parte smontati, che sono cosí svelti e mobili da poter muoversi senza difficoltà avanti e indietro nei vari passaggi. Nessun operaio deve sollevare o trascinare alcunché. A questo scopo abbiamo un reparto apposito, il reparto trasporti.

Abbiamo cominciato col costruire automobili in una unica fabbrica. Abbiamo quindi iniziato anche la fabbricazione delle singole parti, e costituimmo subito dei reparti, ciascuno dei quali produceva un solo pezzo. Cosí come è organizzata ora la nostra fabbrica, ciascun reparto provvede a costruire o a comporre un solo pezzo. Ciascun reparto è come una piccola fabbrica per conto proprio. Il pezzo viene

addotto sotto forma di materia prima o di pezzo di fusione, attraversa una serie di macchine o di processi di riscaldamento ed abbandona il reparto come prodotto finito. Il fatto che all'inizio della produzione abbiamo posto questi vari reparti uno vicino all'altro, è dovuto solo all'intento di agevolare i trasporti. Non supponevo che fosse possibile una suddivisione del lavoro cosí spinta e cosí rigorosa; ma con il crescere della produzione ed il moltiplicarsi dei reparti cessammo di essere una fabbrica d'automobili per diventare una fabbrica di parti d'automobile. Quindi facemmo una nuova scoperta; e cioè che non era necessario che tutte le parti venissero fabbricate in un solo stabilimento. In realtà non si trattava di una scoperta: semplicemente, mi ero solo spostato lungo un cerchio, e tornavo ora al punto di partenza, quando ancora comperavo i motori già fatti ed il 90 per cento delle varie parti dell'automobile, già finite. Quando avevamo cominciato a fabbricare noi tutte le parti, ci era sembrato evidente che tutte dovessero venir fabbricate in un solo stabilimento, come se costituisse un particolare vantaggio il fatto che l'intera vettura nascesse sotto un solo tetto. Ora siamo arrivati ad una concezione del tutto opposta. Se dovesse essere necessario in futuro costruire ancora delle grandi fabbriche, ciò sarà dovuto al fatto che si dovranno costruire le singole parti in quantitativi talmente grandi, da richiedere un impianto su vasta scala. Spero che con il passar del tempo la grande fabbrica di Hisghland Park si limiti addirittura a due sole attività; la fusione delle varie parti viene già effettuata oggi nello stabilimento di River Rouge. Siamo quindi sulla miglior strada per ritornare là da dove siamo partiti, con la sola differenza che oggi, anziché procurarci da fuori le varie parti, le produciamo noi stessi anche per altri. [197]

A partire dall'epoca della guerra di secessione, la macchina era in effetti, come già notava un cronista alla esposizione universale di Filadelfia del 1876 (vedi p. 356), un vero e proprio elemento di vita per gli americani. Un vitalismo tecnico-pratico permeava tutta l'America del Nord.

La posizione della tecnica in Germania alla fine del XIX secolo

Al contrario di quanto avveniva in Inghilterra ed in America, in Germania alla fine del XIX secolo la tecnica e i tecnici erano guardati con prevenzione dalle categorie piú elevate. La tecnica e le scienze avevano avuto il loro posto nella cultura generale del XVIII secolo; nel secolo seguente invece l'ideale culturale dei ceti superiori si restrinse al campo filosofico, letterario ed estetico. L'ingegnere e poeta Max Maria von Weber, figlio del musicista Karl Maria von Weber, illustrava egregiamente la situazione nel 1882 in un dialogo:

Conte C.: — Caro barone, mi congratulo per il suo figliolo! È un giovane incantevole. Sono restato stupito dalla quantità di buone cognizioni nel campo letterario, artistico e scientifico, che egli senza pretese e con molto tatto lascia trapelare nella conversazione. Educato proprio *comme il faut*. Che pensate di farne?

Barone E.: Dovrà diventare un tecnico, conte C., e come prima cosa frequentare l'Accademia Professionale di B.

Conte C.: Scherzate! Con il vostro antico casato, le vostre conoscenze nei circoli piú elevati! Questo giovane cosí elegante, adatto per la carriera diplomatica o per quella militare, diventare una specie di *ouvrier* di tono piú elevato! Perdonate se non posso trattenermi dal ridere.

Barone E.: Il vostro riso mi meraviglierebbe assai, se non sapessi che con la parola tecnico si comprendono molti concetti diversi.

Conte C.: Vi sbagliate se mi ritenete del tutto a digiuno in materia! Tutti questi affari di commercio, industria, traffici e quanto altro esprimono queste parolone del tempo moderno mi sono stati sempre del tutto *affreux*, e me ne sono tenuto il piú lontano possibile. Macchine strepitanti, mani sporche, poveri diavoli grondanti sudore, noiosissime file di numeri, *voilà* la tecnica! Ma, come sapete, ho poi spo-

sato la *cousine* della principessa Albina. Mi era dovuta dall'alto una qualche destinazione. Si era incerti se farmi intendente al teatro di corte di D. o presidente della compagnia ferroviaria di qui. Non me ne intendevo minimamente né di teatro né di ferrovia, ma ciò entusiasmò proprio il Ministro che, con la acutezza tipica dell'uomo politico di vecchia scuola, ritenne che un'amministrazione senza pregiudizi potesse venir svolta appunto solo da un incompetente; *enfin*, egli mi fece direttore delle ferrovie. Cosa volete, imparai a dirigere, e dirigevo bene, poiché quando fu inaugurata la ferrovia Altdorf-Bergen, che io non ho mai visto ma che appartiene alla mia circoscrizione, ricevetti un'onorificenza dal Duca. Allora ho potuto conoscere i vostri tecnici!

Barone E.: E questa conoscenza vi ha portato a pensare tanto poco favorevolmente dei tecnici da rimproverarmi perché penso di far diventare tale mio figlio? [. . .]

Barone E.: Senza dubbio, gente di cultura universale per scienza e per pratica.

Conte C.: Oh, ascoltate: "Il mastro di macchine era frisone di nascita, rude, largo di spalle, sembrava fatto apposta per potre afferrare le macchine, e le sue mani facevano pensare che avesse appena riposto la lima. Egli si alzava cosí presto e andava al lavoro cosí di buon mattino che non gli riusciva mai di lavarsi e di pettinarsi, in breve era un individuo molto pratico! Aveva un paio di occhi maledettamente scaltri, e teneva sempre un sigaro mezzo masticato fra i denti. Egli sedeva sorridendo scaltramente, fino a quando non si era detto tutto, e quindi veniva fuori a dire come un oracolo: 'Tutto ciò è una scemenza, in verità! Io ho fatto il conto.' E naturalmente, visto che lo sapeva con tanta sicurezza, doveva anche essere giusto."

Barone E.: La saggezza prova e misura,
l'ignoranza grida: "È cosí!"

Conte C.: *Plaît-il*? Già, era un eccellente pratico. Lo diceva il ministro, e noi lo potevamo toccar con mano. Ma le macchine da lui inventate non volevano mai andar bene; egli però assicurava che il loro effetto utile, o come altrimenti lo chiamava, era eccellente. Egli lo dimostrava con esperimenti e file di numeri, *à donner le vertige*, e noi restavamo stupefatti e, naturalmente, gli credevamo. Egli era straordinariamente bravo: si vedeva il costruttore di macchine nato.

Barone E.: E l'ingegnere capo?

Conte C.: Un uomo della cui pratica ci si poteva fidare come dell'oro! Era un contadino flemmatico, con la testa grossa, ed aveva

già costruito trent'anni prima una ferrovia, sulla quale aveva avuto modo di raccogliere tanta esperienza, da tenercisi ben giustamente attaccato nel modo piú conservatore. Tutte le nuove costruzioni e fantastiche innovazioni venivano da lui derise con convinzione, come "trappole teoriche." Era un uomo cosí giusto in ciò! poiché "verde è solo l'albero d'oro della vita," dice Goethe: e perché dunque ciò che era buono trent'anni fa non poteva valere ancora oggi?

Egli non metteva mai a repentaglio la sua fama di eccellente pratico e il denaro dello stato studiando i problemi che si presentavano, o eseguendo costruzioni ardite, o applicando nuovi criteri e nuovi apparecchi di costruzione, o compiendo esperimenti, come fanno i tecnici che vogliono, con ciò, secondo loro, progredire nella loro arte, ma in realtà non fanno che servire alla loro vanità; egli piuttosto seguiva, senza guardare mai a destra o a sinistra, da impiegato *comme il faut*, le prescrizioni che gli venivano dai superiori, tenendo i suoi registri in un ordine esemplare. *Mon Dieu*, era forse colpa sua se con tutte quelle esatte scritture, e quell'obbedienza ai superiori e quel mantenersi fedele ai metodi a lungo sperimentati, non era proprio possibile pensare a migliorare i lavori di costruzione in un modo che, devo confessare, avrebbe anche richiesto molto denaro? Solo a sentire come rideva delle idee dei novatori si capiva che era un uomo eminentemente pratico, anche se non l'avesse detto il Ministro!

Barone E.: Si tratta di modelli eccellenti per rappresentare il concetto che vi siete fatto dei tecnici. E che tipo rappresentava l'assessore tecnico?

Conte C.: Ah, di lui non c'è molto da dire. Assomigliava troppo ad altre persone della società. Oh, io esecravo quest'uomo! Fra tutti i tecnici era il piú insopportabile. Il gaglioffo intendeva aver l'aspetto e le maniere di uno di noi, di parlare con noi come uno di noi. Lo si sarebbe in realtà preso per un ufficiale in borghese o per un consigliere di stato. Il pazzo garzone, per voler diventare un tecnico, aveva ucciso gli anni della sua giovinezza con Cesare, Orazio e Senofonte, invece di stare dietro al tornio, era figlio di gente per bene, aveva avuto una istitutrice francese, aveva sentito all'università Dove e Hegel; gran Dio, di dove doveva allora provenire il tecnico? Poiché, il fatto che avesse compiuto con lode gli studi al politecnico di Z., che avesse costruito e lavorato in grandi fabbriche, che avesse costruito ferrovie sotto i migliori maestri del genere, che avesse servito in quasi tutti i rami dell'attività ferroviaria, tutto ciò poteva servire solo a impedirgli di diventare un buon tecnico pratico! Cosí la pensava pure

il Ministro.

Barone E.: Inaudito! Mi sembra che un uomo di tale formazione sarebbe stato perfettamente adatto per esser fatto dirigente pratico!

Conte C.: Barone, non so dirle quanto incomodo ed immodesto fosse quest'uomo. Se ad esempio si presentava un grosso, *Dieu sait* quale problema tecnico! Bisognava chiedere senz'altro al mastro di macchina come comportarsi, ed egli, da uomo veramente pratico, me l'avrebbe di sicuro detto. Cosí faceva sempre il Ministro, uomo pieno di spirito. Invece no, il nostro assessore si buttava in uno studio approfondito della faccenda, in uno scambio di corrispondenza con le amministrazioni vicine, in esperimenti di ogni genere, in invii e viaggi di esperti qua e là, e produceva alla fine, da tanta messe di notizie e di dati *tant bien que mal* un elaborato, cosí noioso, lungo e poco pratico! tutto da ridere; mi guardavo bene dal leggerlo, e lo facevo mettere senz'altro agli atti! Vi chiedo: non si trattava di una persona esecrabile, un bastone nelle ruote della nostra amministrazione?...

Barone E.: A quel che sembra, voi partite dal presupposto che il tecnico non goda mai o molto raramente di una buona educazione, dove con essere ben educato non intendo "aver imparato qualcosa" ma "essere un *gentleman.*" Il vostro assessore mostra il contrario. Devo tenerlo in conto di un tecnico poco pratico, per il fatto che era un *gentleman*?

Conte C.: Le rare eccezioni non dimostrano niente. Dite quel che volete, ma un uomo che per dodici ore al giorno tocca cose sudice da dover temere di sporcarsi gli abiti, anche dopo essersele lavate ha sempre le mani sporche. Il modo con il quale il tecnico sta alla morsa, guardando in basso, o sta intorno ad un pezzo di macchina con i colleghi, il modo con il quale muove il braccio, avvezzo a muovere la lima o l'utensile da tornio, non sparisce piú, e tradisce inequivocabilmente il lavoro volgare!... Fino a che le autorità (ed a seguito di quelle, in Germania, naturalmente anche i privati) non potranno immaginarsi un buon tecnico se non come un uomo di aspetto piuttosto ordinario, con gli stivali, con un metro sotto il braccio, un rotolo di carta in mano, ciò costringerà i tecnici stessi a tenersi, per amore di pace e di fiducia, al livello che corrisponde a questo aspetto esterno...

Barone E.: Educate uomini che per cultura e costumi siano all'altezza della vita della società civile e fatene dei tecnici: questo è il segreto, questa è la sola soluzione del problema. [198]

Il pregiudizio della società contro l'ingegnere incominciava frattanto a svanire, verso la fine del secolo, anche nel paese dei poeti e dei pensatori. Un importante passo avanti su questa strada fu costituito, nel 1899, dalla equiparazione accademica, e dal nuovo statuto delle scuole tecniche superiori, analogo a quello delle università. L'industria tedesca si sviluppò assai rapidamente a partire dal 1900 circa, non da ultimo anche per effetto della concezione tecnico-scientifica delle scuole professionali, e divenne un'importante concorrente dell'Inghilterra e dell'America. Se Reuleaux aveva potuto dire nel 1876 dei prodotti tedeschi all'esposizione universale di Filadelfia che erano "economici e cattivi," già all'esposizione mondiale di Parigi del 1900 la Germania poté ottenere particolari riconoscimenti per la loro alta qualità.

Nuove macchine motrici

La grande, costosa macchina a vapore serviva in generale, come già aveva rilevato nel 1816 G. Reichenbach, "ai ricchi ed ai grandi industriali."[1] Reichenbach si era sforzato allora, ma senza grande successo, di realizzare una macchina a vapore ad alta pressione piú economica, di minor ingombro e trasportabile. Parve in seguito di aver trovato nella macchina ad aria calda la piccola macchina motrice adatta per le piccole manifatture: se ne occuparono nella prima metà del XIX secolo molti inventori, rifacendosi a S. Carnot; ebbe una certa diffusione verso il 1850 ad opera di John Ericsson; ma non risultò molto efficiente. Nel 1860 Étienne Lenoir costruí un motore a gas ad accensione elettrica che suscitò molto interesse; si cominciò subito a produrne grandi quantitativi. Mosso dalle notizie relative alla macchina di Lenoir, Nikolaus August Otto si dedicò ad analoghe ricerche nel campo dei motori a gas. Nel 1867, Otto, che frattanto aveva fondato nel 1864 una fabbrica di motori a gas insieme a Eugen Langen, realizzò una "macchina atmosferica" a gas che aveva un consumo inferiore di due terzi circa a quello della macchina di Lenoir. In dieci anni furono vendute quasi 5000 "macchine atmosferiche" da un quarto di cavallo fino a 3 cavalli. Questa macchina si prestava particolarmente ad essere impiegata per azionare pompe e per lavori di stamperia; funzionava molto silenziosamente, era alta fino un metro e 70, non se ne poteva ottenere una potenza superiore a 3 cavalli.

La generale necessità dell'epoca di disporre di una piccola macchina motrice a sussidio dell'operaio fu sottolineata da Franz Reuleaux, che scriveva nel 1875:

Solo il grande capitale può permettersi di acquistare ed usare le potenti macchine a vapore, attorno alle quali si raggruppa la restante parte dell'impianto, la quale pure esige del capitale, ma non ne è inseparabile...

Bisogna rendere l'energia indipendente dal capitale. Il modesto tessitore sarebbe liberato dal prepotere del capitale se potessimo met-

tere a disposizione del suo telaio, nella misura giusta, la forza motrice che gli serve. Lo stesso potrebbe farsi con successo nel campo della filatura... Altri campi sono quelli della costruzione dei mobili, di chiavi, di cinghie, quelli dello stagnino, del fabbricante di spazzole, di pompe, ecc. Ciò che manca a queste attività è in parte il motore primo, in parte le macchine operatrici. Ma queste ultime potrebbero anche essere acquistate dai singoli artigiani, poiché si possono ottenere a prezzo veramente moderato: quella che manca ancora è la forza motrice. Il mobiliere, al quale si fornisce a buon mercato la forza motrice che gli occorre per azionare una sega circolare, una sega a nastro, una piallatrice, una fresatrice, potrebbe lavorare a casa propria altrettanto bene quanto fa ora nelle fabbriche di mobili da cui è stato inghiottito. Cosí, con lo sfruttare nei vari modi possibili il suo gruppo di macchine, egli manterrebbe la sua abilità, o la riacquisterebbe dopo averla perduta nella fabbrica. Lo stesso succederebbe per le altre attività nominate. Il piccolo artigiano potrebbe cosí competere con la grande industria, malgrado alcuni vantaggi di questa, poiché nel lavoro svolto in casa il reciproco aiuto dei vari membri della famiglia, soprattutto dal punto di vista morale, diventa un fattore molto efficace. Il piccolo artigiano, con il suo seguito di aiutanti ed apprendisti, costituirebbe un piccolo organismo di lavoro, con il suo capo ed i suoi membri, le sue forze gerarchicamente ordinate, che potrebbe risultare simile all'antica organizzazione artigianale, e nello stesso tempo potrebbe differenziarsene a seguito dell'introduzione delle macchine. Una volta che il piccolo artigiano fosse sceso nell'agone della concorrenza, la qualità del suo lavoro dovrebbe rapidamente migliorare, mentre nello stesso tempo anche il mercato di lavoro per la grande industria, cioè per il capitale, dovrebbe mostrare una congiuntura assai favorevole...

Quindi, ciò che la meccanica deve fare per ovviare ad una gran parte del capitale, è fornire piccoli quantitativi di energia a buon prezzo, o, in altre parole, realizzare piccole macchine motrici, il cui esercizio esiga spese assai modeste. Diamo in mano al piccolo artigiano le forze elementari a prezzo tanto basso, quanto quello al quale dette forze vengono prodotte per il capitale dalle grandi macchine a vapore, e svilupperemo questa importante categoria sociale, rinforzandola dove essa fortunatamente ancora esiste, e ricercandola dove essa invece sta scomparendo. Viene a proposito il fatto che anche in altri campi, ad esempio in quello dell'artigianato artistico, risuoni l'imperativo di rimettere in piedi i piccoli maestri...

Il concetto che la suddivisione delle forze elementari sia conveniente, si rende manifesto in luoghi diversi e sotto parecchie forme. Una di queste è rappresentata dal dare in affitto l'energia, come si è cercato di fare con successo nelle grandi città. Ciò ha avuto per conseguenza l'ammucchiarsi dei lavoratori in un unico edificio, l'ammassarsi volontario delle famiglie e degli operai in luoghi malsani: vecchi mali sotto nuovi aspetti. In ogni caso questo procedimento è senz'altro assai meno vantaggioso di quello di realizzare piccole macchine motrici per modeste attività artigianali. Si possono annoverare già parecchi esempi di questo genere. Anzitutto i motori a gas, poi le macchine a colonna d'acqua, e, allo stato di esperimento assai interessante, le macchine a gas di petrolio...

Esse sono da considerare come le piú importanti fra le macchine moderne; in esse sta il germe di una profonda trasformazione di una parte dell'industria...

Le macchine ad aria e a gas possono essere impiegate quasi dovunque e stanno inoltre subendo un continuo perfezionamento. Questi piccoli motori sono le vere macchine motrici del popolo... [199]

Con assiduo lavoro, Otto e Langen cercavano una macchina a gas che fosse esente dagli inconvenienti presentati dalla "macchina atmosferica." Nel 1877 alfine Otto riuscí a realizzare un motore a quattro tempi di buon rendimento, che presentava rispetto alla macchina atmosferica i vantaggi di una corsa piú silenziosa e di un notevole risparmio di peso e di ingombro. L'invenzione risultò particolarmente indicativa per la moderna costruzione di motori. Reuleaux era entusiasta della nuova macchina, che lodò come la maggior invenzione nel campo delle macchine motrici dai tempi di Watt. Anche Otto e Langen, come ebbero occasione di affermare in occasione del venticinquesimo anniversario della fondazione della loro industria, nel 1889, intendevano contribuire con la loro macchina ad "alzare una diga contro lo straripante, arbitrario potere del capitale, irrobustire la piccola industria per le dure lotte della vita economica e riportare i criteri di produzione entro binari che assicurassero un tranquillo sviluppo ulteriore della civiltà."[8]

Il motore a gas di Deutz, di Otto e Langen, era dapprima dipendente dalla conduttura del gas di alimentazione, anche se già dal 1875 si erano fatte esperienze con la benzina come combustibile, e si pensasse di applicare il motore a gas ai veicoli. Ma dovevano essere Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach i primi a realizzare nel 1883, riallacciandosi ai lavori di Otto e Langen, quel leggero e veloce motore a benzina che doveva mostrarsi capace di tanto sviluppo. Il motore a quattro tempi di Otto faceva da 150 a 180 giri al minuto, il nuovo motore di Daimler ne faceva invece

900. Con ciò sorgeva la possibilità della motorizzazione dei veicoli e addirittura del volo meccanico. Un carro a benzina, costruito a Vienna già nel 1875 da Siegfried Marcus, fu ben presto dimenticato. Solo il veicolo a motore, al quale pervennero nel 1885, lavorando del tutto indipendentemente, Gottlieb e Daimler e Carl Benz, fu fertile di un ulteriore sviluppo che condusse alla moderna automobile; come abbiamo ricordato, questa, già nel 1913, era oggetto in America di una produzione in serie, e determinò una nuova rivoluzione nel campo delle comunicazioni.

Accanto al motore a scoppio comparve, alla fine del XIX secolo, il motore Diesel, con maggiore precompressione dell'aria comburente, con autoaccensione del combustibile, e combustione a pressione alta e uniforme; quel motore Diesel che, grazie al suo alto rendimento, doveva prestarsi negli anni seguenti a ricchissimi sviluppi. Diesel scriveva assai chiaramente nel 1913, poco tempo prima di morire, la storia della realizzazione del suo motore:

Un'invenzione consiste di due parti: l'idea e la sua realizzazione. Come nasce l'idea?

Può avvenire che sorga per folgorazione, ma nella maggioranza dei casi traspare lentamente, dopo faticose ricerche, da innumerevoli errori, si fa strada sempre piú chiaramente nella coscienza attraverso continui confronti, sceverando le cose importanti da quelle meno importanti, finché non compare del tutto chiara allo spirito. L'idea non sorge dalla teoria né viene raggiunta per via deduttiva, ma solo attraverso l'intuizione. La scienza è soltanto uno strumento per la ricerca e per l'esperimento, ma non crea alcun pensiero.

Ma anche quando la verifica scientifica ha provato l'esattezza del pensiero, l'invenzione non è ancora matura. Solo quando la natura ha risposto affermativamente alle domande ad essa poste mediante l'esperimento pratico, allora l'invenzione è compiuta. Anche allora però essa non è che un compromesso fra l'idealità del mondo del pensiero e la possibilità del mondo reale.

Quando il mio venerato maestro, il professor Linde, spiegava all'auditorio nel corso delle sue lezioni di termodinamica al politecnico di Monaco nel 1878, che la macchina a vapore trasforma in lavoro effettivo solo il 6-10% della quantità di calore disponibile nel combustibile; quando egli chiariva il principio di Carnot ed illustrava come nei cambiamenti isotermici di stato di un gas tutto il calore ceduto viene trasformato in calore, io scrissi in margine al mio quaderno: "Studiare se non sia possibile realizzare praticamente l'isoterma." Allora mi misi all'opera! Ciò non era una scoperta, e tanto meno una

idea per una scoperta! Il desiderio di realizzare il processo ideale di Carnot dominò da allora tutto il mio spirito. Lasciai la scuola, entrai nella pratica, dovetti conquistare la mia posizione nella vita. Quel pensiero però mi seguiva tacitamente.

A quell'epoca tutte le speranze di migliorare l'utilizzazione del calore della macchina a vapore erano poste nel surriscaldamento del vapor d'acqua. Poiché a me, che mi occupavo di macchine per il freddo, era familiare il vapore di ammoniaca, pensai di impiegare, in luogo del vapor d'acqua, vapore surriscaldato d'ammoniaca che, in quanto assai lontano dal suo punto di considerazione nelle normali condizioni d'esercizio, è assai meno sensibile all'azione raffreddante delle pareti del cilindro. Nella fabbrica di ghiaccio di Linde a Parigi istituii un laboratorio per lo studio sistematico del vapore surriscaldato di ammoniaca e delle soluzioni ammoniacali, e per la costruzione di piccoli motori ad ammoniaca con assorbimento dell'evaporato. Le ricerche teoriche, che procedevano di pari passo, indicarono che per una razionale utilizzazione del calore di surriscaldamento del vapore era necessario impiegare contemporaneamente pressioni assai elevate.

I vapori cosí surriscaldati e sottoposti a pressioni tanto elevate si trovano già in uno stato quasi prossimo a quello dei gas. Come ora sia sorta l'idea di sostituire l'ammoniaca con un gas reale, e precisamente aria surriscaldata e ad alta pressione; di introdurre in quest'aria il combustibile finemente suddiviso e di lasciarla espandere, durante la combustione di queste particelle, in modo che la maggior parte del calore prodotto da questa combustione venga trasformato in lavoro esterno; non lo so dire. Ma dalla corsa continua verso la mèta agognata, dall'assidua ricerca delle relazioni esistenti fra innumerevoli possibilità, nacque alfine l'idea buona, che mi riempí di gioia indicibile. Nelle mie ricerche sul surriscaldamento del vapore mi ero imbattuto in un particolare processo di combustione: verificai questa idea in base alla termodinamica e resi pubbliche queste mie considerazioni, dapprima puramente teoriche, in una piccola opera[9] che fu pubblicata nel 1893, quattordici anni dopo quella mia nota marginale nel mio quaderno di scuola. In essa, dopo aver esaminato tutti i tipi di curva di combustione, dimostravo come la combustione isoterma fosse la piú razionale. Poco tempo prima avevo ottenuto il brevetto tedesco n. 67.207.

Porterebbe troppo lontano ripetere qui il contenuto di quel libretto; coloro che si interessano particolarmente del graduale passaggio dalla teoria alla macchina praticamente realizzata, dovranno rifarsi a questo scritto e per essi va aggiunto che, approfondendo ulterior-

mente questi studi anche dal lato pratico (in particolare tenendo conto anche delle perdite di lavoro meccaniche) riconobbi che il ciclo di Carnot meritava solo in teoria la sua fama di "unico perfetto," e che per la macchina pratica era determinante non la temperatura massima ma la pressione massima. Pertanto, in pratica, non solo nella compressione, come avevo supposto nei miei scritti teorici, ma anche nella combustione si doveva abbandonare l'isoterma per raggiungere una maggior prestazione specifica, se pure con notevole sacrificio dello sfruttamento del calore prima calcolato. In conseguenza di ciò già nello stesso anno 1893 chiesi un secondo brevetto, n. 82.168, che proteggesse oltre all'isoterma anche ogni altro tipo di curva di combustione del diagramma. Con ciò avevo ottenuta infine piena libertà di sviluppare i veri e originali concetti dell'invenzione che, come già detto, erano i seguenti:

I) riscaldamento dell'aria pura nel cilindro di lavoro della macchina mediante la sua compressione meccanica da parte dello stantuffo, molto oltre il punto d'accensione del combustibile da impiegare.

2) introduzione graduale di particelle di combustibile finemente suddivise, con combustione di queste nell'aria molto riscaldata e compressa, con contemporanea produzione di lavoro sullo stantuffo che viene spinto in fuori. Poiché un combustibile può bruciare solo quando è stato prima gasificato, per tutti i combustibili non gasosi la conseguenza immediata di questo secondo concetto fondamentale fu:

3) graduale gasificazione del combustibile nel cilindro di lavoro stesso, in piccolissime quantità per ogni volta, per ogni corsa dello stantuffo, ricavando il calore di gasificazione per l'adescamento della combustione del calore di compressione. Questo terzo concetto fondamentale doveva servire ad eliminare il complicato carburatore, fonte di molte perdite.

Soprattutto i profani, ma anche le persone di scienza, ritengono spesso che la caratteristica essenziale del procedimento Diesel sia l'autoaccensione del combustibile, che lo scopo dell'alta pressione sia di provocare l'autoaccensione del combustibile iniettato in corrispondenza al punto morto, e che il valore massimo della pressione sia condizionato dal fatto che esso provochi sicuramente l'accensione.

Nulla è piú inesatto di questa concezione superficiale, che contrasta nettamente con la realtà dei fatti ed in particolare con lo sviluppo storico dell'invenzione.

Motori con autoaccensione del combustibile, ne esistevano anche prima. Io non ho mai parlato di autoaccensione nei miei brevetti, né

l'ho indicata come la mèta da raggiungere nei miei scritti. Io cercavo un processo che fornisse la massima utilizzazione del calore, e questo si presentò in modo da comportare del tutto naturalmente nel suo sviluppo anche l'autoaccensione. Quando l'aria viene riscaldata molto al disopra della temperatura di accensione del combustibile mediante una compressione, l'accensione del combustibile entro quest'aria avviene automaticamente, ma essa non rappresenta il motivo di questa compressione tanto spinta. L'autoaccensione di tutti i combustibili liquidi e gasosi si verifica, nelle macchine a temperatura di regime, già con pressioni inferiori, pari a 5-10, al massimo 15 atm. Sarebbe pertanto molto piú agevole costruire macchine piú semplici, piú leggere e piú economiche per pressioni di quest'ordine, superando la difficoltà della prima accensione a macchina fredda impiegando transitoriamente un mezzo artificiale di accensione. Sarebbe stolto costruire macchine cosí pesanti e complicate per una pressione di 30-40 atm. solo per ottenere l'autoaccensione a macchina fredda, in quanto i motori, una volta a temperatura di regime, girano bene anche a bassa pressione, come hanno dimostrato numerose prove.

Lo scopo del procedimento, cercato per tanti anni e cosí faticosamente realizzato, è però un altro, e precisamente quello di ottenere il miglior sfruttamento possibile del combustibile; questo scopo esige l'impiego di aria molto compressa. Ma poiché un'alta compressione porta troppo presto all'accensione il combustibile mescolato all'aria, l'autoaccensione per compressione, quale era praticata nei motori precedenti, costituiva un ostacolo per la realizzazione del processo e doveva pertanto essere evitata; soltanto l'aria doveva essere compressa meccanicamente ad un valore tale da ottenere l'alto grado di utilizzazione del calore derivato.

Il valore massimo della compressione non è definito dall'accensione del combustibile, ma corrisponde allo scopo originario del massimo sfruttamento economico del combustibile. [200]

Guidato dalla propria esperienza, Diesel analizzò magistralmente l'essenza della creazione inventiva. Egli mostrò pure come la legge sui brevetti (finalmente nel 1877 anche la Germania ebbe una legge di tutela delle invenzioni valida per tutto il paese), pur sollecitando in generale l'attività inventiva, poteva anche in qualche caso agire come elemento rallentatore, quando un brevetto non veniva concesso per una effettiva invenzione, alla cui realizzazione industriale l'inventore aveva dedicato tante fatiche, solamente perché si poteva dimostrare "che l'idea stava marcendo già da qualche parte in uno scritto dimenticato."

Mai ed in nessun modo si potrà definire invenzione l'idea pura e semplice; si prenda a caso l'elenco delle invenzioni, il cannocchiale o gli emisferi di Magdeburgo, l'arcolaio, la macchina per cucire o la macchina a vapore, sempre è l'idea *realizzata* a valere come invenzione. Un'invenzione non è mai un semplice prodotto intellettuale, ma il risultato di una lotta fra l'idea ed il mondo materiale. Per questo, di ogni invenzione realizzata si può sempre dimostrare che pensieri simili, con maggior o minor grado di precisione e coscienza, stavano alla base già di altre invenzioni, anche di molto anteriori.

Tra l'idea e la realizzazione dell'invenzione sta sempre un periodo di lavoro e di sforzo tipico del processo inventivo.

In ogni caso solo una piccola parte del pensiero può venir costretta al mondo materiale; l'invenzione realizzata è sempre molto diversa dall'ideale inizialmente concepito nella mente, e che non può mai essere raggiunto. Perciò ciascun inventore deve anche occuparsi di un'immensa congerie di idee, progetti ed esperimenti. Bisogna volere molto per ottenere qualcosa: solo una parte minima sussisterà alla fine.

La nostra legge sui brevetti realizza in generale solo la protezione delle invenzioni, e quindi essa può annientare le invenzioni piú meritevoli e piú valide, se solo riesce a dimostrare che "l'idea" sta marcendo da qualche parte in uno scritto dimenticato.

Il sorgere dell'idea è quel felice momento dell'attività creativa del pensiero in cui ogni cosa sembra possibile, in quanto non ha ancora niente a che fare con la realtà.

La esecuzione è il momento in cui ci si devono procurare tutti i mezzi che servono alla realizzazione dell'idea, momento ancora creativo, ancora felice, momento in cui si devono superare le resistenze della natura; da esso si esce sempre temprati e nobilitati, anche se battuti.

La diffusione è il periodo di lotta con la stupidità e l'invidia, l'inerzia e la malvagità, la resistenza occulta e l'aperta lotta degli interessi, il terribile periodo della lotta con gli uomini, un martirio anche quando è coronato da successo.

Inventare significa pertanto scindere un concetto esatto da una lunga serie di errori, e portarlo, attraverso innumerevoli insuccessi e compromessi, al successo pratico.

Pertanto ogni inventore dev'essere un ottimista; la potenza della idea mantiene tutta la sua forza attiva solo nell'animo del suo autore, e solo questo possiede il sacro fuoco della sua realizzazione. [201]

Allorché Diesel, nel 1893, pubblicò la sua opera sulla *Teoria e costruzione di un motore termico razionale*, e ne inviò un esemplare a Franz Reuleaux, ricevette da questi una lettera di ringraziamento, che lascia comprendere come Reuleaux avesse subito giudicato nel suo giusto valore il grande significato di quell'invenzione:

Berlino, 22-2-1893

Al Signor Rudolf Diesel, ingegnere, città.

Ho letto con grande interesse lo scritto da Voi gentilmente inviatomi e relativo al Vostro nuovo motore. L'elaborazione teorica mi sembra esente da lacune e dotata di un'altra forza di argomentazione. Alcuni punti vi presenteranno dapprima ancora difficoltà pratiche, e questi vi costeranno ancora un periodo di fatiche, come la distribuzione entro al cilindro della polvere combustibile iniettata, la guida delle varie parti, le tenute dei recipienti sottoposti a grandi variazioni di calore. Ma non mi sembra che esistano ostacoli tremendi. Vi si deve quindi augurare buona fortuna, e quella tenacia che è richiesta da tutte le novità tecniche. La Vostra macchina porta un grave colpo alla macchina a vapore, poiché questa viene superata in quanto ad utilizzazione del calore. La tecnica deve invero giungere a eliminare i gravi difetti da tempo riscontrati sulle vecchie macchine a vapore. Il guadagno di rendimento che si può ottenere con questo sistema è tale, da premiare qualsiasi sforzo.

Vi porgo i miei migliori ringraziamenti per quanto inviatomi; con devozione,

F. Reuleaux. [202]

Il motore Diesel costruito dal 1893 nelle Officine Meccaniche di Augusta (tav. XXXI), conquistò presto un vasto campo d'applicazione, sia per macchine fisse di diversa potenza, sia come motore di propulsione per navi, veicoli stradali e ferroviari, e, a partire dal 1928, anche aerei. La rapida diffusione del motore Diesel nel campo della propulsione navale, per effetto del suo alto rendimento, è illustrata dal fatto che nel 1939 circa un quarto della flotta mercantile mondiale era equipaggiata con motori di questo tipo.

Con la diffusione dei motori a benzina ed a nafta, il petrolio divenne una materia prima di prim'ordine e di grande importanza politica. Dall'epoca delle prime perforazioni in Pennsylvania, nel 1859, la produzione andò aumentando a ritmo assai intenso.

Il fabbisogno di energia, in continuo aumento a partire dall'ultimo terzo del XIX secolo, fece volgere lo sguardo dei tecnici anche verso la turbina idraulica, che fu notevolmente perfezionata e venne presto utiliz-

zata per la produzione di energia elettrica. Verso la fine del XIX secolo sorse, accanto alla macchina a vapore, la turbina a vapore, il cui rendimento economico superava assai quello della macchina alternativa. Particolarmente la turbina a vapore ad alta pressione di A. Parson, che già nel 1884 aveva costruito la sua prima macchina, fu ampiamente impiegata dopo il 1900 nelle centrali elettriche alimentate a carbone. In tali applicazioni si poteva accoppiare direttamente la turbina all'albero della dinamo elettrica, in modo da ottenere un funzionamento estremamente economico. Gli inizi di un nuovo tipo di turbina, la turbina a combustione o a gas, risalgono, se si considerano i puri progetti dei primi tempi, alle ricerche di H. Holzwarth nel 1906. Lo sviluppo vero e proprio della turbina a gas che, in rapporto alla sua potenza, è contraddistinta da un peso particolarmente ridotto, si compí solamente nel secondo quarto del nostro secolo. La riduzione del peso unitario è una caratteristica comune dello sviluppo di tutte le macchine motrici; il peso unitario dei motori d'aereo era, nel 1917, di 1,7 kg/hp, mentre nel 1950 era di soli circa 0,5 kg/hp.

L. Galvani aveva scoperto nel 1786 l'elettricità sotto forma di corrente. A. Volta, J. W. Ritter, H. Chr. Oersted, A. M. Ampère, G. S. Ohm e M. Faraday cercarono d'indagare nel primo terzo del XIX secolo le proprietà ed il comportamento della corrente elettrica. I primi esperimenti per impiegare tecnicamente la corrente elettrica ebbero inizio soprattutto nei laboratori dei fisici. Agli inizi dell'elettrotecnica sta l'invenzione del telegrafo elettromagnetico ad opera di Schilling von Canstadt nel 1832 e di F. Gauss e W. Weber nel 1883. Seguí nel 1843 Sam F. B. Morse con il primo telegrafo scrivente d'uso pratico; nella seconda metà del XIX secolo si aggiunse quindi il telefono. Già nell'anno che seguí la scoperta dell'induzione ad opera di Faraday, H. Pixii, il meccanico di Ampère, costruí nel 1832 il primo generatore di corrente rotativo. E M. H. von Jacobi costruí nel 1834 il primo motore elettrico che potesse effettivamente essere impiegato per compiere un lavoro; la macchina era alimentata da una batteria. Il fisico olandese Vorsselmann De Heer nel 1839 trattò dell'elettromagnetismo come forza motrice. Egli si riferiva alle note di Benjamin Silliman riportate nel-l'*American Journal of Science* del 1838 ed a un piccolo carrello elettromagnetico costruito dal professore in chimica S. Stratingh, a Groninga, nel 1835.

La possibilità di impiegare l'elettromagnetismo come nuova forza motrice ha attratto su di sé l'attenzione anche di alcuni uomini di scienza degli Stati Uniti. Si senta quanto scrive a questo proposito Silliman nella sua apprezzata rivista scientifica che si pubblica a New-Haven... La scienza naturale, egli dice, ha posto del tutto inaspettatamente nelle nostre mani una nuova fonte di grande, sconosciuta energia. Essa non attira i venti dalle loro caverne, né dà pressione all'acqua per effetto del calore, e non fa esaurire la forza muscolare degli animali, né lavora attraverso meccanismi complicati, e non sfrutta la forza dell'acqua imbrigliando i selvaggi torrenti, né utilizza alcuna

forza di gravità, ma con il mezzo piú semplice, per il semplice contatto di superfici metalliche di limitata estensione con agenti chimici deboli, si sviluppa in modo misterioso una forza ovunque presente nella natura, ma per lo piú occulta ai nostri sensi. E attraverso circuiti di conduttori isolati essa viene misteriosamente ancora aumentata centinaia e migliaia di volte, fino a quando non prorompe con incredibile violenza. Nessun apprezzabile indugio esiste fra il suo primo sorgere e la sua maturità, ed il bambino nasce subito come gigante.

Questa è ora la situazione dell'elettromagnetismo. Potrà effettivamente questa forza sostituirsi con vantaggio, almeno in alcuni casi, a quella del vapore? Sento che esistono nel nostro paese abili meccanici che rigettano tale possibilità come una vera e propria sciocchezza... Un tale atteggiamento è del tutto sconveniente per l'uomo di cultura scientifica, ed addirittura biasimevole, in quanto egli con il suo parere fa diminuire negli altri l'impulso verso le cose buone. L'elettromagnetismo è una forza "di energia grande, ancora sconosciuta," e non si deve rigettare ciò che non si conosce; a meno che i meccanici non abbiano in effetti buoni motivi per giustificare quel loro giudizio negativo. Perché allora non rendono noti questi loro motivi, cosí che gli altri vengano liberati dal loro errore e possano impiegare il loro tempo per qualcosa di meglio? Nel campo delle scienze naturali può valere soltanto il riconoscimento dei dati di fatto, e poiché questi, a quanto so, non hanno ancora portato a decidere nulla, mi prenderò la libertà di descrivere un apparecchio nel quale l'elettromagnetismo viene impiegato in un modo particolare come forza motrice. Forse quest'apparecchio, con le sue eventuali applicazioni, consentirà di formulare un giudizio, o se invece non permetterà alcuna applicazione, potrà tuttavia essere posto fra i divertimenti dei fisici. [203]

... Potrà mai questo aspo elettromagnetico servire ad azionare gli alberi delle macchine nelle nostre fabbriche? Vedremo il carro del sig. Stratingh solo sui tavoli dei nostri uditorii o lo vedremo anche girare per la strada che porta da Amsterdam a Harlem? In breve, sarà possibile sostituire, almeno in alcuni casi, il vapore con l'elettromagnetismo, e se ciò avverrà, tale sostituzione sarà accompagnata da un qualche guadagno?

Credo che per rispondere con certezza e con fondamento a questa domanda la scienza non disponga ancora dei dati necessari. Frattanto molto si è già fatto di quanto può servire a risolvere il problema, e quanto manca può facilmente ottenersi mediante ulteriori esperimenti. Le prove devono tuttavia farsi abbastanza su larga scala, e superano

pertanto le possibilità sulle quali possono contare la maggioranza dei nostri fisici. Soltanto il genere di ricerca non mi pare impossibile, e penso che con un paio di migliaia di fiorini si possa chiarire completamente la cosa. Certo lo scopo è abbastanza importante per meritare un certo appoggio da parte dei governi. L'imperatore di Russia ha già indicato un programma che merita di essere imitato, e se la preparazione e la diligenza degli scienziati russi corrisponde alla generosa protezione offerta dal loro monarca, dobbiamo aspettarci da quel paese qualcosa di notevole. Esaminiamo ora piú da vicino il genere di compito di cui si tratta.

Sia per l'impiego del vapore, sia per l'impiego dell'elettromagnetismo, c'è bisogno di acqua; nel primo caso essa viene evaporata, nel secondo scomposta. Per l'evaporazione si ha bisogno di calore, e quindi di carbone, di legna, di combustibili; per la scomposizione è necessaria un'azione chimica, e quindi lo zinco. La questione è ora: quale via consenta di ottenere la forza maggiore con le spese minori. Quante libbre di zinco sono necessarie per azionare una macchina della forza di uno, di dieci o di cento cavalli?

Questa è la domanda capitale dell'elettromagnetismo, e fino a quando non le si sarà data una risposta tutte le speranze e gli argomenti che si possono portare pro o contro saranno solo vani e ingannevoli. Ci sono speranze di giungere alla soluzione del problema? Credo di sí. Il peso dello zinco che è necessario per dare ad una massa di ferro una certa forza magnetica deve venir calcolato con altrettanta precisione quanto il peso del carbone necessario per riscaldare ad una certa temperatura una determinata massa d'acqua... [204]

Infine, resta da esaminare ancora un punto importante. Quando si giunge ad impiegare come forza motrice la forza magnetica creata, occorre sapere quante libbre si possono in tal modo sollevare ad una determinata altezza. È chiaro che non si tratta qui della forza del magnete, ma dell'attrazione e della repulsione che si possono esercitare a distanza. Quando due magneti di data forma e forza, che cioè sotto l'effetto del magnetismo terrestre compiano un determinato numero di oscillazioni, vengano avvicinati l'uno all'altro in direzione perpendicolare o parallela, con quale forza agiranno l'uno sull'altro e quale peso sarà necessario per vincere l'attrazione o la repulsione? Come varia il peso in dipendenza della posizione reciproca dei magneti? Anche questo punto si potrà chiarire attraverso esperimenti e si potrà cosí determinare la forza motrice che si può ricavare da una determinata forza magnetica...

Ho accennato solo fuggevolmente al processo di ricerca da seguire. Fisici piú abili e che dispongano di mezzi maggiori devono poter riempire queste lacune del nostro sapere, di modo che i pregiudizi, siano favorevoli o contrari, possano venir sostituiti da concetti piú chiari e piú precisi. E se risultasse che questa nuova forza non è in grado di muovere né navi né veicoli, se la sua azione utile non si potesse misurare in dine ma in millidine, anche in tal caso essa potrebbe trovare un'applicazione utile in moltissimi casi. Occorre sapere a questo punto se si tratterà di un mezzo motore a buon mercato. L'energia del vapore si può impiegare con vantaggio infatti soltanto quando ci siano da muovere grossi carichi. Una macchina a vapore che dovesse compiere ad esempio il lavoro di un uomo soltanto, sarebbe assai poco conveniente, ed ancor meno lo sarebbe se essa dovesse essere usata di tanto in tanto, con interruzioni. Proprio in questi casi, nelle piccole macchine, si dovrebbe poter adoperare l'elettromagnetismo. Una macchina di questo genere viene messa rapidamente in movimento: non appena lo zinco viene immerso nel liquido, la sua azione incomincia; essa cessa, non appena lo zinco viene estratto. In questo caso non si hanno perdite, né prima né dopo; ciascun grano di zinco che viene ossidato voltaicamente, produce il suo effetto; la macchina non costa niente, o fa qualcosa in cambio. Quanti casi non si possono pensare, anche nei semplici usi domestici, nei quali si potrebbe impiegare utilmente una simile forza! La domanda da porre è solo questa: si può lavorare piú economicamente con gli uomini o con i magneti?

Che queste considerazioni possano contribuire a far convergere sull'argomento l'attenzione generale! Con tale augurio prendo congedo dai miei lettori... [205]

Dopo che M. H. von Jacobi ebbe inventato nel 1839 la galvanoplastica, sorse il bisogno di grosse macchine magnetoelettriche, in quanto il lavoro con le batterie risultava troppo costoso. Per le esigenze della galvanotecnica, John S. Woolrich, professore di chimica a Birmingham, costruí nel 1844 una grande macchina magnetoelettrica azionata a vapore. I cugini George R. e Henry Elkington impiegarono nel loro stabilimento galvanotecnico il generatore di corrente di Woolrich. Il consigliere di stato russo J. Hamel, che intraprese per incarico del governo russo un viaggio di studio in Inghilterra nel 1847, cosí scrisse di tale macchina:

Fra le piú interessanti e grandiose applicazioni tecniche di risultati di ricerche scientifiche verificatesi in Inghilterra nel corso dell'ultimo decennio sono da ricordare la doratura e l'argentatura di og-

getti metallici per via umida, e precisamente secondo tre metodi: 1) argentatura e doratura per semplice immersione; 2) argentatura e doratura mediante batteria galvanica; 3) argentatura e doratura mediante macchine magnetoelettriche...

Ciò che piú che altro parla a favore delle macchine magnetiche introdotte dal signor Woolrich per la doratura e l'argentatura è il fatto che i signori Elkington, malgrado disponessero di un vantaggioso brevetto per eseguire l'argentatura e la doratura a batteria, abbiano acquistato il brevetto di Woolrich ed abbiano fatto installare nel loro stabilimento una macchina magnetica veramente colossale. Essa è dotata di otto magneti a ferro di cavallo, ciascuno composto da dodici lamiere aventi una lunghezza, dalla linea d'estremità dei poli all'orlo esterno dell'arco, di due piedi e mezzo, una larghezza di due pollici e mezzo ed insieme uno spessore di quattro pollici. L'apertura, ovvero lo spazio fra i poli, è di sei pollici. Questi otto magneti sono trattenuti fra due dischi di ghisa mediante dispositivi d'ottone di modo che i poli risultano diretti verso un centro dove si trova l'asse di una ruota dal diametro di due piedi e mezzo; questa ruota porta alla periferia non meno di sedici armature con cilindri di ferro lunghi quasi sei pollici e grossi due piedi e mezzo, che portano gli avvolgimenti e che ruotano fra i poli dei magneti con una velocità di piú di settecento giri al minuto. Il signor Woolrich crede che la forza di un cavallo dovrebbe essere sufficiente per far girare la ruota che porta le armature.

La macchina qui descritta verrà presto montata dai signori Elkington. Anche se il signor Woolrich ha esagerato nel suo entusiasmo, quando ha previsto che si possano depositare da sedici a venti libbre di argento all'ora, vale a dire tre quarti di *pud* al giorno; tuttavia questa macchina gigantesca avrà sempre una prestazione assai maggiore di quella di tutte le macchine magnetiche fino ad oggi destinate a compiere lavori elettrolitici...

Negli stabilimenti nei quali vengono continuamente depositati grandi quantitativi di metallo, sia argento o rame, particolarmente quando già si dispone di una macchina a vapore per altri scopi, si dovrebbero sempre preferire i magneti alle batterie...

Ho già parlato delle grandi quantità d'oro che vengono impiegate a Birmingham nei lavori di doratura. Una relativamente notevole quantità di mercurio, che nei vecchi metodi di doratura serviva per riportare l'oro sotto forma di amalgama, doveva venir trasformata in vapore mediante riscaldamento. Questi vapori, entrando nei polmoni

degli operai addetti ai crogiuoli, cagionavano quell'orribile tremito di tutte le membra, un eccesso di salivazione ed altre malattie. Grazie ai nuovi metodi di doratura introdotti dagli Elkington e da J. S. Woolrich, durante le mie ultime visite a Birmingham non mi è stata mostrata una sola di quelle vittime della doratura a mercurio, che prima in cosí gran numero e con tanta pena avevo incontrato. [206]

Oltre alla galvanotecnica, anche la lampada ad arco contribuí a dar origine al bisogno di macchine magnetoelettriche di uso pratico, come quelle che venivano costruite dopo il 1850 dalla "Société d'Alliance." Con la realizzazione del primo generatore elettrico che sfruttasse il principio dinamoelettrico, la dinamo costruita nel 1866 da Werner Siemens, ebbe veramente inizio la tecnica delle correnti forti. Nel 1882 T. A. Edison costruí a New York la prima centrale elettrica del mondo, che alimentò ben presto un migliaio di lampade elettriche (tav. XXXII). Già alcuni anni prima, nel 1879, Edison aveva realizzato la lampada elettrica a incandescenza a filamento di carbone con piedino a vite; e nel 1884 fu collegato alla centrale di Edison il primo motore elettrico. La prima centrale elettrica tedesca fu inaugurata a Berlino nel 1885. W. Siemens, che aveva realizzato nel 1879 la prima locomotiva elettrica e nel 1880 il primo ascensore elettrico, accoppiò per la prima volta nel 1881 direttamente una macchina a vapore con un generatore di corrente. Riportiamo tre lettere di Werner Siemens, dalle quali traspare la sua lungimiranza.

A Karl Siemens, St. Petersburg.

Charlottenburg, 6 dicembre 1887.

...È ormai tempo di costruire centrali elettriche in tutto il mondo, e finora ne costruiscono solo gli americani e noi, cioè la Siemens & Halske e la Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (già Edison). In Inghilterra non esiste ancora alcuna centrale che fornisca l'illuminazione, e in Francia stiamo ora costruendo la prima a Lione insieme alla Società di Costruzioni Meccaniche Mülhausen-Belfort... [207]

A Karl Siemens, St. Petersburg.

Charlottenburg, 25 dicembre 1887.

...Certo mi sono affannato anche per ottenere il guadagno e la ricchezza, non per goderne, ma come mezzo per poter eseguire altri progetti ed altre imprese e per poter ottenere con il successo la conferma della fondatezza delle mie azioni, e dell'utilità del mio lavoro. Cosí mi sono agitato fin da giovane per la fondazione di un'impresa di portata mondiale come quella di Fugger, che desse potenza e lustro

non solo a me ma anche ai miei posteri in tutto il mondo e fornisse i mezzi per innalzare a migliori condizioni di vita anche i miei fratelli e parenti piú prossimi...

Vedo nel commercio soltanto in seconda linea un modo per far denaro; per me si tratta piuttosto di un regno che io ho fondato, e che vorrei tramandare ai miei posteri nella sua integrità, perché continuino ad operare in esso... [208]

La lettera seguente, indirizzata al conte de Bylandt, ci indica come a Siemens, uomo aperto a tutti i problemi del suo tempo, stesse a cuore anche il problema sociale delle macchine di piccola potenza, problema di cui ci siamo occupati già a proposito dei motori a combustione. L'attenzione andava rivolta non solamente alla illuminazione elettrica ma anche alla "distribuzione dell'energia elettrica, socialmente assai piú importante." Il motore elettrico era infatti in grado di rivolvere il problema delle piccole macchine motrici per artigiani.

Al conte de Bylandt (Reale Ambasciata d'Olanda) a Berlino.

Berlino, 7 giugno 1889

L'elettricità non è finora adatta per la vera e propria produzione dell'energia, quale viene fornita dalle macchine a vapore o a gas, ma soltanto per la trasmissione dell'energia prodotta in luoghi lontani da dove avviene l'utilizzazione. Mediante la corrente elettrica si può addurre l'energia prodotta da un salto d'acqua alle località vicine, dove essa può essere impiegata per l'illuminazione elettrica, per azionare macchine operatrici, per operazioni elettroniche ecc. Tali grandi forze idrauliche naturali si trovano però soltanto nelle regioni montane; nei paesi in cui esse sono disponibili, come in Isvizzera, esse sono già state ampiamente impiegate per il trasporto elettrico dell'energia alle città vicine, come Zurigo, Ginevra, ecc. In Germania ciò si è verificato solo su scala limitata, in quanto mancano grandi forze idrauliche attive sia d'estate che d'inverno. In pianura siamo pertanto indotti a produrre con le macchine a vapore o a gas l'energia da trasportare per via elettrica. Le grandi spese dovute alla rete di cavi necessari per distribuire nelle città questa energia elettrica dai centri di produzione hanno costituito finora un ostacolo per l'installazione di tali impianti. Finora l'attenzione è stata concentrata dovunque sulla luce elettrica, poiché l'introduzione dell'illuminazione elettrica è sentita dappertutto come una necessità. È tuttavia ben noto agli elettrotecnici che l'illuminazione elettrica costituisce soltanto la transizione verso la distribuzione dell'energia elettrica, socialmente assai piú im-

portante. Con la distribuzione dell'energia elettrica la popolazione delle città può ottenere un'energia a basso costo senza fatica. In tale maniera la piccola officina, l'operaio isolato nella sua abitazione, vengono messi in grado di valorizzare meglio le loro forze di lavoro e di entrare in concorrenza con le fabbriche che producono economicamente l'energia necessaria mediante macchine a vapore o a gas. Questa circostanza produrrà con il passar del tempo una vera e propria trasformazione delle nostre condizioni di lavoro in favore della piccola industria. Ne deriva che la facilità di disporre dell'energia necessaria nei posti desiderati produrrà innumerevoli applicazioni nelle case e per le strade, applicazioni che renderanno piú facile e piú piacevole la vita, come ventilatori, ascensori, tranvie, ecc. L'elettricità presenta ancora un'altra utile applicazione industriale, per l'effetto elettrochimico della corrente elettrica. Grazie ad esso si può immagazzinare l'elettricità per servirsene a piacimento (ad es. caricando accumulatori), si possono eseguire dorature, argentature, galvanoplastiche, ecc. Ci vorrà del tempo prima che il pubblico si avvezzi a questi usi dell'elettricità, ma ciò sicuramente avverrà. Con questo un impianto elettrico di distribuzione verrà sfruttato anche di giorno, mentre un impianto che serva per l'illuminazione viene utilizzato soltanto per poche ore serali. Ciò aumenterà notevolmente l'economia degli impianti. Attualmente molte città sono in dubbio se costruire impianti a corrente continua o a corrente alternata; cosí la mia ditta sta montando attualmente a L'Aja un impianto in corrente continua, mentre ad Amsterdam è in esecuzione un impianto in corrente alternata. Gli impianti in corrente alternata sono però poco o nient'affatto adatti per la trasmissione dell'energia a distanza, e sono quindi di ostacolo per il futuro sviluppo della vita sociale cittadina. [209]

Accanto ai due sistemi contrastanti, quello in corrente continua e quello in corrente alternata, dei quali si parla nella chiusa della lettera di Siemens testé citata, ne sorse presto un altro, che li sopraffece entrambi: il sistema trifase. Nello stesso anno nel quale Siemens scriveva la sua lettera, M. von Dolivo-Dobrowolski realizzò il motore trifase di pratico impiego ed il trasformatore trifase, dopo che anche altri avevano lavorato a queste realizzazioni. Con la trasmissione dell'energia elettrica trifase da Lauffen a Francoforte sul Meno, su una distanza di 175 km, trasmissione realizzata nel 1891 in occasione dell'Esposizione Elettrotecnica di Francoforte per impulso di Oscar von Miller, si ha l'inizio vero e proprio della trasmissione a distanza dell'energia elettrica. La facile trasformabilità della corrente trifase e la semplice costruzione del motore trifase contribuirono al successo

di questo sistema.

Alla fine del XIX secolo si restava stupiti dinanzi alle imponenti conquiste della elettrotecnica. Si riteneva che l'epoca del vapore fosse ormai tramontata completamente, e che l'elettrotecnica, giovane gigante, dovesse dare alla fine il colpo di grazia al vapore. A. Wilkie scriveva nel 1893:

Non è passato molto tempo da quando la nostra epoca veniva designata "il secolo del vapore," ed a ragione, in quanto la macchina a vapore è stata la principale protagonista della trasformazione delle moderne industrie e comunicazioni. Lo schiavo vapore è però appena giunto a maturità, quando si presenta al servizio dell'umanità un giovane gigante che sembra voler lavorare in piena concordia con il fratello vapore per i suoi padroni, ma che in realtà tende a sopraffarlo. Questo giovane gigante è l'elettricità. Rimasto indietro per decine di anni nella sua crescita, esso ha improvvisamente incominciato a svilupparsi negli ultimi venticinque anni, ed in questo breve tempo è tanto cresciuto da cominciare a rivoluzionare la tecnica. A vederlo, non si direbbe che abbia trascorso i lunghi anni della sua infanzia nei laboratori, e che scienziati silenziosi abbiano guidato i suoi primi passi. Ma proprio questo fatto di essere rimasto nascosto agli inizi, e di mietere ora tanti successi attira l'interesse di tutte le persone colte, mentre questo suo trionfo senza precedenti fa sí che anche i profani aspettino da lui grandi imprese nel futuro.

Cosí è successo che il povero vapore è già detronizzato nell'opinione dei piú, e gli è stato tolto perfino l'onore di dar nome al secolo. Non piú il "secolo del vapore," no, il "secolo dell'elettricità" sarà chiamata l'epoca presente. Ciò non è generoso, ma è tuttavia comprensibile.

Vedremo infatti che l'elettricità riunisce in sé un gran numero di brillanti proprietà, rispetto alle quali quelle del vapore, che in ultima analisi può produrre solo potenti spinte, non reggono il confronto. In prima linea sta la molto maggior indipendenza dell'elettricità dal luogo in cui viene prodotta, grazie alla quale essa può andare a compiere il suo lavoro assai lontano, mentre il vapore può spostarsi solo di poco dalla sua caldaia, ed anche per questo limitato percorso richiede una via realizzabile con grande fatica; l'elettricità invece corre con la velocità del fulmine entro fili sottili attraverso rilievi e depressioni e curve e, suddividendosi facilmente, compie le sue imprese contemporaneamente in molti luoghi. Ma questo non è che un piccolo vantaggio; maggiore di tutti è quello dell'universalità delle funzioni

che l'elettricità può compiere. Abbiamo bisogno di luce? L'elettricità ce la fornisce, e meglio che qualsiasi altro agente. Se abbiamo bisogno di forza motrice, ecco il motore elettrico, un nano in confronto alla macchina a vapore di ugual potenza. Abbiamo freddo: lo stesso filo che già ci ha aiutato ci dà anche il calore, un po' caro in verità per le condizioni attuali, ma con il tempo anche ciò cambierà. E cosí potremo continuare ed enumerare ciò che l'elettricità ci consente o ci consentirà di fare, ma preferiamo riassumere e dire: Nell'elettricità noi possediamo tutte le forme di energia che ci abbisognano: forza motrice, luce, calore, ecc., sotto la forma piú comoda e piú intensa. Con ciò abbiamo ben determinato il suo valore, che non mancherà di venir dovunque riconosciuto, non appena le difficoltà che ancora si frappongono ad una economica produzione della corrente elettrica verranno superate. [210]

Il volo e la radio

Antico come il mondo è il desiderio dell'uomo di potersi sollevare nell'aria come gli uccelli. Leonardo da Vinci si era sforzato inutilmente, al passaggio dal Medioevo all'era moderna, per risolvere, attraverso semplici esperimenti e geniali costruzioni, il problema del volo muscolare dell'uomo. E Ch. Huygens era persuaso nel 1673 che il motore a polvere da sparo da lui inventato, per la sua relativa leggerezza, avrebbe potuto servire per la propulsione di un velivolo una volta che fosse stato opportunamente perfezionato. Il suo buon senso tecnico gli aveva fatto prevedere il vero. Malgrado tutti i desideri, gli sforzi e gli esperimenti, era destino che soltanto Otto Lilienthal potesse ricavare, alla fine del XIX secolo, le prime notizie sicure sul volo grazie al suo aliante (fig. 56). Sul problema del volo cosí si esprimeva Lilienthal nel 1895 nel *Prometeo*:

In verità a noi uomini non è dato facilmente di spaziare nell'aria come uccelli. Ma il desiderio di ciò non ci dà tregua; basta che un grosso uccello volteggi in circolo sopra il nostro capo, per risvegliare in noi il desiderio di librarci come lui nella volta celeste.

L'intelligenza dei problemi fisici è abbastanza sviluppata in ogni uomo per immaginare che occorre solo trovare la chiave giusta perché ci si apra un intero nuovo mondo di traffici. Con quanta calma, con quanta assoluta sicurezza, con quali meravigliosamente semplici mezzi vediamo scivolare nell'aria quell'uccello! Forse che l'uomo, con la sua intelligenza, con l'ausilio delle forze della meccanica, che già gli hanno concesso di compiere opere meravigliose, non potrà riuscire anche in ciò? E tuttavia è difficile, straordinariamente difficile ottenere anche approssimativamente ciò che la natura riesce a fare quasi giocando. In quanti modi non si è già inutilmente tentato di rendere accessibile anche agli uomini l'arte degli uccelli! Anche la scienza si è occupata seriamente del problema del volo. I fenomeni del volo na-

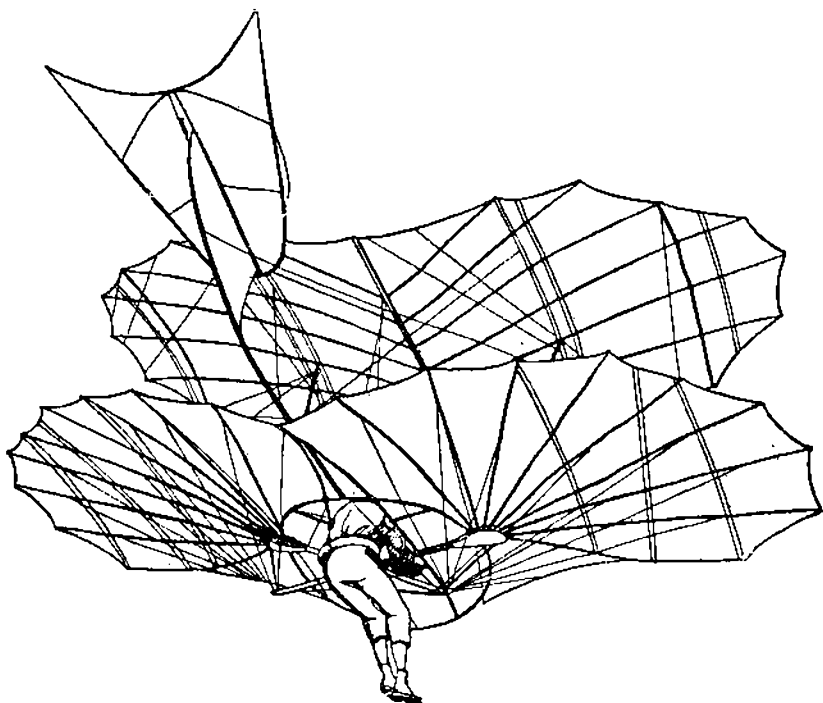



Fig. 56. *Otto Lilienthal nel suo aliante.* Anno 1895.

turale sono stati scomposti, anatomicamente e meccanicamente, per via ottica attraverso la fotografia istantanea e mediante la riproduzione grafica. Ormai abbiamo superato tanto gli uccelli, che questi non ci possono piú servire per farci lume. Non appena vogliamo trar profitto dalla nostra sapienza per volare effettivamente, appare ancora la nostra misera pesantezza, e le rondini volano attorno al nostro capo e ridono di noi. Forse in nessun altro campo della tecnica è cosí difficile trovare il giusto passaggio dalla teoria alla pratica...

È ancor oggi una questione aperta se queste dirette imitazioni del volo naturale costituiscano una delle strade o la sola strada verso la meta agognata. A molti tecnici sembra ad esempio che il movimento delle ali negli uccelli sia troppo difficile da eseguire con mezzi meccanici, e non vogliono pertanto rinunciare anche per muoversi nell'aria all'elica, tanto bene utilizzata per la propulsione nell'acqua. Su una cosa sono peraltro tutti d'accordo, e cioè che se si vuole volare, si deve volare velocemente, e ciò comporta ulteriori difficoltà...

Quantunque nella maggior parte dei progetti del genere si prenda lo spunto dal volo degli uccelli, in quanto opportune superfici a mo' di vela, spinte in avanti, producono una forza portante, tuttavia i metodi in base ai quali si tenta di realizzare meccanicamente questo volo e che differiscono tra loro per la forma degli apparecchi o per le prove che su essi si fanno, sono numerosi tanto quanto i tecnici che si occupano di tali cose, in quanto ciascuno segue una sua strada diversa. Ma tutte queste strade conducono in generale ad uno stesso ed unico scoglio, contro il quale naufraga l'idea, se non addirittura lo stesso velivolo, prima che si possa giungere ad un risultato soddisfacente. In genere non si supera mai la prima prova, che finisce sempre cosí: o non si riesce neppure a sollevarsi nell'aria, oppure, quando ciò riesce, non si può piú ridiscendere con mezzi sicuri sulla terra.

Ciascuno sa bene immaginare cosa voglia dire muoversi attraverso l'aria con la velocità d'un treno diretto, e quindi tornare a posarsi sulla terra senza pericolo e senza che si deva rompere nulla dell'apparecchio. Quando però si pensa di ottenere ciò da una macchina grande, pesante e complicata, allora la possibilità di un felice atterraggio risulta assai piú ridotta. Sembra addirittura temerario sperare in un qualche successo in un volo da principiante realizzato con simili complicati apparecchi...

Se non potessimo quotidianamente persuaderci di quanto facilmente e sicuramente sfreccino nell'aria gli uccelli e sappiano girare con il vento, dovremmo senz'altro disperare di giungere a realizzare il volo. Ma esiste ugualmente una qualche probabilità che si giunga a tale realizzazione? Quali sono in realtà gli obbiettivi della tecnica del volo? Fino a quale grado di perfezione sarà possibile sviluppare il volo umano? Già, "sviluppare," questa è l'espressione giusta, e "sviluppo" il concetto che ci deve rincuorare ad aprirci una via nella tecnica del volo.

Nessuno può oggi prevedere fino a che punto l'uomo potrà arrivare nel campo del volo libero, perché fino ad oggi assai poco si è fatto in questo senso. Se qua e là qualche idea per una macchina per volare è giunta ad essere realizzata, per naufragare poi contro lo scoglio già nominato, ciò ha ben poco valore agli effetti dello sviluppo del volo dinamico. Sull'argomento del volo inoltre si abusa di teoria, e ciò pure serve poco per lo stato attuale di questa tecnica.

Circa la teoria del volo, la situazione oggi è abbastanza confortante. Da quando ci siamo potuti render conto della resistenza all'aria delle ali degli uccelli e delle proprietà aereodinamiche della curvatu-

ra del loro profilo, possiamo ugualmente bene renderci conto di tutti i fenomeni del volo naturale. Ciò che d'ora in poi dobbiamo sviluppare, è il vero e proprio volo pratico. Dobbiamo ancora liberare la strada da molte difficoltà puramente pratiche, ma queste sono piú grandi di quanto a prima vista non si creda. Dobbiamo pertanto dedicare un ben preciso studio a queste difficoltà pratiche, dobbiamo escogitare metodi, studiarli a fondo, per poter quindi lottare con essi con successo. Solo in questo modo porremo il seme per una utile attività in questo campo che finora è stato cosí avaro di compensi.

Il metodo che ci deve portare al volo libero deve essere suscettibile di sviluppi, per quanto primitivo esso possa essere agli inizi, cosicché attraverso le prove da eseguire si possano ottenere dati per un vero e proprio volo attraverso l'aria, anche se limitato: si possano raccogliere esperienze sulla stabilità del volo, sull'azione del vento e sull'atterraggio senza pericoli, per potersi avvicinare a poco a poco, mediante continui perfezionamenti, al volo libero di lunga durata.

Lo scopo non si può raggiungere d'un sol colpo. Proprio perché in generale gli inventori richiedono in una sola volta troppe cose dalle loro costruzioni, si ottengono cosí pochi risultati positivi. Restare sospesi nello spazio senza palloni, attraversare l'atmosfera volando, costituiscono un campo d'azione talmente nuovo che su di esso si potranno solo molto lentamente ottenere degli orientamenti. Colui che trascurerà quindi un sano sviluppo graduale condotto attraverso continue esperienze sui movimenti stabili, liberi e sicuri nell'aria, non otterrà mai nulla in questo campo...

Dopo che fu da me stabilito che si possono eseguire voli planati abbastanza lunghi partendo da punti sopraelevati e servendosi di apparecchi assai semplici, anche con venti non molto forti, ci sono da seguire due strade: da una parte, estendere questi voli anche con venti piú intensi, in modo da avvicinarsi quanto piú possibile al durevole volo degli uccelli che tanto ammiriamo; dall'altra parte si deve tentare di sostenere il semplice volo planato mediante mezzi dinamici in modo da rendere continuo il volo anche con aria poco mossa...

Anche un apparecchio ad ala battente è già stato praticamente sperimentato... Per ottenere il battito delle ali si impiega una macchina azionata da acido carbonico compresso... Per il resto la manovra dell'apparecchio è uguale a quella dei semplici alianti, e tuttavia le prime caute prove mi dimostrarono che, se mi fossi precipitato nell'aria senz'altro con semplici battiti d'ala, l'apparecchio non sarebbe probabilmente arrivato giú senza danni. Si verificano tuttavia sempre

nuovi fenomeni, ed un semplice atterraggio mal riuscito è sufficiente per rovinare tutto l'apparecchio. Anche qui si ripete nuovamente: "Non bisogna avere in una sola volta troppe esigenze!" Ho dovuto quindi limitarmi a compiere prima soltanto normali voli planati con questo apparecchio piú grande e piú pesante, che con un peso di 40 kg pesa sempre piú del doppio di un semplice aliante, ed a compiere dapprima con sicurezza atterraggi senza pericoli, e solo adesso, dopo aver portato a felice conclusione questo primo passo, posso cominciare con prudenza e battere le ali nel volo libero.

Può darsi che esistano anche altri metodi per sviluppare con successo il volo umano. Ci si dovrà sempre però occupare di analoghi problemi, per andare incontro alla soluzione di questa difficile questione...

Quali che siano le strade da seguire, si potrà sperare in un progresso solo quando gli esperimenti compiuti consentiranno istruttive osservazioni sul comportamento di un corpo che si muova veramente libero nello spazio; in quanto si tratta di fenomeni del tutto nuovi, che non abbiamo mai incontrato in nessun altro campo della tecnica. Il volo stabile e libero in contrasto con le irregolarità del vento, ed il sicuro atterraggio con volo dinamico sono elementi sui quali si hanno ben poche esperienze pratiche, ma che costituiscono tuttavia proprio il fondamento della tecnica del volo. Tuttavia la soluzione del problema del volo viene solo resa piú difficile da queste circostanze, e non resa impossibile. Quando si sarà chiarito in quale direzione si devono avviare le ricerche sulla tecnica del volo, le forze ora disperse si concentreranno rapidamente su un solo punto giusto, onde poter lavorare con successo al continuo sviluppo del volo libero. [211]

Stimolati da Lilienthal, i fratelli Orville e Wilbur Wright si dedicarono nel 1900 al problema del volo. In quei giorni la prima aeronave dirigibile del conte Zeppelin attraversava lo spazio, azionata da due motori Daimler. L'antenato di questo "veicolo piú leggero dell'aria" che venne poi costruito in dimensioni sempre maggiori fino al 1936 ma che fu poi abbandonato a seguito del successo nello sviluppo degli aeroplani, era costituito dal pallone inventato dai fratelli Mongolfier nel 1783, la cui prima ascensione nel cielo di Francia aveva entusiasmato il mondo intero. Nel 1903 i fratelli Wright riuscirono a compiere il primo volo guidato con un velivolo biplano del peso di 355 kg., mosso da un'elica azionata dall'energia di un piccolo motore a benzina. Furono percorsi in 59 secondi 260 metri controvento. L'incanto era spezzato. L'aeroplano a motore ad elica iniziò la sua conquista dello spazio. Ma soltanto dopo la guerra mondiale 1914-1918

ebbe inizio uno sviluppo molto superiore al previsto, e questo fu continuato con un'attività particolarmente febbrile durante la seconda guerra mondiale. L'aeroplano divenne una terribile arma di distruzione. L'umanità vide di colpo la relazione esistente fra il progresso tecnico e l'annientamento apocalittico. La tecnica, questa grande promessa, si rivelò pure come un pericolo; ma la creazione tecnica proseguí alacremente la sua strada. L'epoca che seguí la seconda guerra mondiale vide la realizzazione effettiva degli aerei a reazione, il primo dei quali, un apparecchio Heinkel, aveva già attraversato lo spazio nel 1939 nel corso di un volo di prova. Con un aereo a razzo fu raggiunta nel 1947 per la prima volta una velocità superiore a quella del suono (1200 km/h). Queste elevate velocità posero tuttavia nuovi problemi di forma e di materiale. Un aereo a reazione riuscí infine nella nostra epoca a raggiungere una quota di quasi 20.000 m. La terra è diventata piú piccola, i popoli sono stretti insieme, ma malgrado ciò, o forse proprio per questo, essi spesso si fronteggiano come nemici.

Grande importanza ebbe per lo sviluppo dei traffici e delle comunicazioni e per la diffusione dei beni spirituali, anche se qualche volta venne impiegata a scopi propagandistici per la sobillazione delle masse popolari, la tecnica radiofonica; essa deve i suoi inizi a G. Marconi, dopo che nel 1888 H. Hertz scoperse le onde elettromagnetiche. Nel maggio 1897 Marconi riuscí a trasmettere dei segnali per via radiotelegrafica sopra una distanza di 5 km. Nello stesso anno egli raggiunse distanze di 15 e 21 km. La disposizione iniziale di Marconi fu notevolmente migliorata nel 1898 da Ferdinand Braun, che introdusse il trasmettitore accoppiato. Le possibilità di sviluppo della neonata telegrafia senza fili furono dapprima giudicate con cautela da Braun. In una conferenza dell'inverno del 1900 egli disse:

Se si vuol sapere quali sono le prospettive, il valore pratico e le possibilità di sviluppo della telegrafia senza fili, si potrà dire quanto segue, in base alle vedute odierne.

Il suo valore come mezzo perfezionato di segnalazione, indipendente da qualsiasi tempo, da qualsiasi ora del giorno, dalla pioggia o dalla neve, è già ampiamente riconosciuto. Ciò resterà valido per molti casi, anche se la speranza di poter fare le varie stazioni indipendenti le une dalle altre non si dovesse realizzare nella misura desiderata.

Il prossimo obiettivo da raggiungere consiste in una maggior potenza del trasmettitore e una miglior sintonizzazione del ricevitore. Se tale obbiettivo verrà raggiunto, anche soltanto entro limiti modesti, le possibilità di applicazione pratica aumenteranno moltissimo. Esistono molte cose, con isole al largo, e regioni poco popolate, dove un

collegamento in cavo non risulta economico, dove una linea telegrafica è troppo esposta ai pericoli degli uragani, degli animali selvaggi o degli uomini (ignoranti). Grande interesse c'è inoltre in tutti i paesi per i possibili usi militari.

Si deve però giudicare pura illusione, presumibilmente per sempre, la speranza di poter completamente sostituire la telegrafia su filo. Come la piú sicura comunicazione scritta resta la lettera chiusa, cosí il filo, quando si può adoperare, costituisce il piú sicuro e discreto collegamento fra due punti. Non sembra impossibile poter giungere a far sí che un messaggio non venga captato da persona non autorizzata, cosa che può succedere del resto anche con la telegrafia su filo, ma finora questo obbiettivo non è stato raggiunto.

Sul bimbo in culla si ripongono le migliori speranze, si è felici quando egli cresce secondo tali speranze, ma chi può dire con sicurezza, anche dopo cinque anni, come si comporterà quando sarà un uomo? Esso crescerà e qualche cosa farà, anche se non si tratterà proprio di Ercole. [212]

In occasione dell'assegnazione del Premio Nobel a Stoccolma nel 1909, Braun trattò delle difficoltà dei tempi iniziali:

Per quanto mi è noto, Marconi aveva iniziato le sue esperienze nel podere paterno nel 1895, e le aveva proseguite in Inghilterra nel 1896. Nell'anno 1897 si hanno fra l'altro i suoi esperimenti nel porto di La Spezia, dove si raggiunsero i 15 km. Nell'autunno del medesimo anno Slaby, praticamente con gli stessi dispositivi, raggiunse i 21 km, ma con l'impiego di palloni atmosferici muniti di un tratto di filo di 300 m. Perché, ci si deve chiedere, si incontrano tante difficoltà ad aumentare la portata della trasmissione? Se il dispositivo funziona una volta, diciamo, per 15 km., perché non si deve poter raddoppiare o moltiplicare tale distanza aumentando la tensione di partenza, per la qual cosa si dispone di mezzi adeguati? Sembrava che all'uopo fosse necessario un continuo ingrandimento delle antenne. Di ciò ero convinto... quando nell'autuno del 1898 mi dedicai a queste ricerche. Mi proposi di ottenere maggiori prestazioni dal ricevitore... [213]

Conclusi che, se si riescono ad indurre in un'antenna priva di scariche, con un circuito chiuso di grande capacità, oscillazioni di potenziale il cui valore medio sia uguale a quello della carica iniziale del trasmettitore di Marconi, si otterrà senz'altro un trasmettitore di maggior efficacia. C'era solo da chiedersi, se si sarebbe potuto ottenere ciò;

ed inoltre la prova a distanza doveva decidere se non avessi trascurato la presenza di una qualche circostanza negativa. Mi riuscí di soddisfare la prima domanda con un circuito di eccitazione opportunamente dimensionato, e prove a distanza comparate decisero a favore della nuova disposizione... Con la mia disposizione era stato introdotto nella telegrafia senza fili il cosiddetto sistema ad accoppiamento... [214]

Georg Graf von Arco, che nel 1897 aveva realizzato insieme con il suo maestro A. Slaby un proprio sistema di telegrafia senza fili, scriveva nel 1904 circa lo stato di questa tecnica quanto segue:

Oggi, grazie all'enorme quantità di lavoro svolto negli ultimi anni da scienziati e ingegneri, la telegrafia senza fili è uscita dal primo stadio di sviluppo, quando le lacune erano colmate da affermazioni gratuite e da misteriose operazioni. Oggi possiamo seguire e misurare il fenomeno, e delimitare matematicamente quanto è realizzabile e quanto non lo è.

I disturbi del nemico alle ricezioni radiofoniche ed inversamente la lettura dei nostri messaggi da parte del nemico si possono escludere in determinate circostanze, ma non in tutte le condizioni!...

Esistono... metodi di inserzione del trasmettitore e del ricevitore che consentono di aumentare la zona libera da disturbi. Ma sussiste sempre la possibilità di tali disturbi. Il solo metodo che effettivamente consenta di ridurre questo pericolo consiste nel costruire le apparecchiature trasmittenti e quelle riceventi in modo da permettere di variare rapidamente le oscillazioni elettriche trasmesse e ricevute. [215]

La tecnica radiofonica ricevette un importante impulso nel 1906 per effetto della scoperta del tubo amplificatore, ottenuta indipendentemente da R. von Lieben e da Lee de Forest: essa piú tardi penetrò largamente nel campo della tecnica. Come avvenne in altri rami, anche nella radiotecnica lo sviluppo venne notevolmente accelerato dalla prima guerra mondiale. Negli anni intorno al '20 venne introdotta la comune radiodiffusione. La televisione si avviò ad entrare nella pratica. E nella seconda guerra mondiale fu realizzata la tecnica radar per la determinazione della direzione e della distanza di oggetti invisibili mediante localizzazione via radio. Le apparecchiature oggi altamente sviluppate per la radiofonia, la televisione, la tecnica radio per aerei e il telecomando ci mostrano una nuova sfera del moderno mondo tecnico. Non si tratta qui di meccanismi tangibili, come nella tecnica delle macchine, né di costruzioni statiche, come nella tecnica edile, né di creazione di materiali, come nella chimica; gli elementi fondamentali sono qui i campi, le onde elettromagnetiche, i circuiti oscillanti, le correnti ed i fasci elettronici.

Le grandi sintesi chimiche, l'energia atomica, l'automazione

Se si prescinde da una piccola industria sorta negli anni intorno al 1820 per la produzione di preparati chimico-farmaceutici, e che appunto dalle farmacie traeva le sue origini, una vera e propria industria chimica sorse in Germania verso la metà del secolo XIX, e, agli inizi, su basi inorganiche. I lavori di J. von Liebig sulle applicazioni della chimica all'agricoltura avevano promosso nel 1840-50 la fondazione di fabbriche di soda, acido solforico, sali di potassio, azoto e concimi fosfatici. La concimazione artificiale forniva infatti la possibilità di produrre pane a sufficienza per la popolazione in rapido aumento. Già la Francia e l'Inghilterra avevano preceduto la Germania nella formazione di una industria chimica inorganica, soprattutto nella fabbricazione dell'acido solforico, che in Inghilterra era particolarmente impiegato nell'industria chimica. Questi paesi godevano di un vantaggio di quasi mezzo secolo. A partire dal 1860 fu costituita in Germania un'industria chimica inorganica dei colori, alla quale diedero grande impulso i lavori di Liebig ancora, ma particolarmente quelli di A. W. von Hofmann e piú tardi quelli di A. von Baeyer. Agli inizi la produzione di coloranti catramosi in Germania era ridotta, poiché nella fabbricazione del gas illuminante mancavano ancora le materie prime necessarie per questi colori. Ma già nel 1878 si producevano nelle fabbriche tedesche coloranti al catrame per 40 milioni di marchi, contro 9 milioni di marchi di produzione inglese e 7 milioni di marchi di produzione francese e svizzera. Fin dagli inizi la chimica scientifica e l'utilizzazione tecnica dei risultati delle ricerche stavano in strettissimo rapporto nella grande industria chimica inorganica. Collegato con lo sviluppo dell'industria dei colori era lo sviluppo della grande industria medicinale.

Il nostro secolo è caratterizzato, nel campo dell'industria chimica, dalla scoperta delle grandi sintesi, nelle quali vengono prodotti cataliticamente prodotti di alto valore a partire dalle semplici materie prime. Ricordiamo soltanto la sintesi dell'ammoniaca, del petrolio artificiale con il metodo ad alta o a bassa pressione, del caucciú buna, dell'alcool metilico, dei materiali organici ad alta polimerizzazione e delle fibre tessili sintetiche. Cosí

la moderna chimica tecnologica, in base alla conoscenza delle relazioni esistenti fra la costituzione e le proprietà delle macromolecole, è in grado di produrre nuovi materiali organici con metodi razionali, materiali che entro certi limiti possiedono determinate proprietà.

Agli inizi delle grandi sintesi sta nel 1913 il procedimento di C. Bosch per la produzione dell'ammoniaca a partire dall'azoto atmosferico e dall'idrogeno. Le basi scientifiche della sintesi vanno cercate nell'opera di F. Haber (1908-1909). R. Le Rossignol, collaboratore di Haber, descrive la prima realizzazione, nei laboratori di Haber a Karlsruhe, della sintesi ad alta pressione su scala ridotta.

Fu una giornata eccitante quando, nel luglio del 1909, due rappresentanti della Badischen (Anilin- und Sodafabrik), il dottor Bosch e il dottor Mittasch, vennero a Karlsruhe su invito di Haber per assistere ai primi esperimenti con i piccoli apparati tecnici. Come spesso avviene nelle dimostrazioni importanti, qualcosa non funzionò a dovere. Un bullone dell'apparecchio ad alta pressione si ruppe quando venne stretto, e la dimostrazione dovette essere rimandata di qualche ora. Il dottor Bosch non ritornò, di modo che solo il dottor Mittasch era presente quando per la prima volta l'ammoniaca sintetica prodotta nel piccolo modello tecnico salí nella provetta. Egli strinse entusiasta la mano ad Haber e fu del tutto conquistato dal processo.

La Badische intraprese quindi, sotto l'esimia direzione del dottor Bosch e del dottor Mittasch, il gigantesco lavoro di trasformare il processo per la produzione su scala industriale. Il risultato del loro lavoro è rappresentato dai colossali stabilimenti di Oppau e Merseburg. [216]

Nel 1913, come abbiamo visto, C. Bosch e A. Mittasch riuscirono a realizzare, dopo lunghi lavori preparatori, nella Badischen Anilin- und Sodafabrik la sintesi dell'ammoniaca, che era destinata ad essere ulteriormente elaborata per la fabbricazione di concimi azotati, onde l'importazione di salnitro dal Cile andò esaurendosi. In occasione del conferimento del premio Nobel, nel 1932, Bosch descrisse a colori vivaci lo sviluppo del suo procedimento e le difficoltà che si erano dovute superare.

Quando dalla direzione commerciale di allora ebbi l'incarico di realizzare la trasposizione di questa sintesi ad alta pressione nel campo tecnico per il suo sfruttamento economico, era chiaro anzitutto che si dovevano senz'altro risolvere tre problemi, prima di iniziare la costruzione di uno stabilimento. Questi problemi consistevano nel procurarsi le materie prime, e cioè il gas azoto ed il gas idrogeno, a prezzo minore di quelli fin allora praticati, nel produrre catalizzatori piú

efficaci e piú durevoli, e finalmente nel costruire le apparecchiature necessarie. L'elaborazione di questi tre problemi fu intrapresa contemporaneamente.

Agli inizi, l'elottrolisi del cloruro rendeva disponibile l'idrogeno puro in quantità sufficiente per gli esperimenti, e la sua combustione in presenza di aria produceva la necessaria miscela di idrogeno e azoto. Per la produzione in grande quantità però non poteva soccorrere alcuno dei procedimenti allora noti per la produzione dell'idrogeno. Essi furono tutti sperimentati da noi, ma, senza eccezioni, o risultavano troppo cari, oppure il gas prodotto era troppo pieno d'impurità. Non si deve dimenticare che l'approvvigionamento di idrogeno costituisce una delle voci principali del costo di produzione; almeno oggigiorno, poiché ora le trasformazioni della miscela di gas in ammoniaca mediante la sintesi ad alta pressione ha una importanza piuttosto limitata agli effetti delle spese passive. Non potevamo far assegnamento che sul carbone, dunque ponemmo gli occhi sull'unica fonte che poteva essere presa in considerazione, il gas d'acqua; da questo, oggi dopo un breve trattamento, e precisamente la separazione dell'idrogeno mediante liquefazione a bassa temperatura con il procedimento Linde, viene prodotto in grandi quantitativi l'idrogeno attraverso un processo *catalitico* da noi inventato.

Anche la risoluzione del secondo problema era di grande importanza. L'osmio, un ottimo catalizzatore, era difficile da trattare, in quanto si volatilizza facilmente come tetraossido di osmio quando viene in contatto con l'aria nella sua forma attiva, cioè finemente suddiviso, il che non si può completamente evitare durante l'esperimento; e ciò era particolarmente grave in quanto, essendo l'intera riserva mondiale di pochi chilogrammi, non avremmo potuto costituire su tale base che una produzione assai limitata. L'uranio era caro, ma tuttavia impiegabile in quantitativi modesti; esso però si mostrava estremamente sensibile agli acidi ed all'acqua, e non si riusciva in alcun modo, e ancora oggi non si riesce, a ridurlo in una qualche forma che si possa impiegare nella produzione su grande scala. Comunque, attraverso estesissime serie di esperimenti condotti in base alla tecnica di prova da noi rapidamente sviluppata, ci riuscí di produrre catalizzatori relativamente rapidi, tecnicamente rispondenti, facili da maneggiare, resistenti ed economici, basati principalmente sul ferro come sostanza attiva: catalizzatori che oggi vengono usati in tutto il mondo esclusivamente per la sintesi dell'ammoniaca. Questi catalizzatori sono di un tipo completamente nuovo, contraddistinto dal fatto che non sono piú costituiti da

elementi puri in forma piú o meno finemente suddivisa, ma consistono in miscele speciali. Abbiamo potuto chiarire la particolare azione di queste miscele catalitiche soltanto dopo anni di lavoro e soltanto in base alle conoscenze teoriche di questi ultimi tempi, quantunque fin da principio ci fossimo fatti per via empirica un quadro abbastanza rispondente, che ci era stato di non poco aiuto nei nostri lavori.

La risoluzione del terzo problema, che soltanto ora tratterò particolarmente, riguarda le apparecchiature. Nella tecnica non esistevano modelli del genere. L'unico processo, ed esattamente di natura fisica, che impiegava le alte pressioni, era la liquefazione dell'aria con il metodo Linde. Gli apparecchi abitualmente impiegati in questo campo erano in rame, con saldature dolci a stagno, e non si potevano quindi adoperare con temperature che raggiungevano, ed in certi punti superavano, i 600°...

Costruimmo quindi dapprima un apparecchio la cui parte essenziale e per noi piú importante ed interessante era, oltre ad una pompa di circolazione e ad un separatore dell'ammoniaca, un tubo di contatto (spessore della parete 3 cm., lunghezza 250 cm.). Questo tubo veniva riscaldato dall'esterno. Per motivi di prudenza, l'avevamo alloggiato in una solida casamatta di cemento armato, situata a conveniente distanza dal resto dell'impianto, in quanto nel frattempo avevamo avuto modo di imparare quanto siano pericolosi gli incendi e le lingue di fuoco che si hanno in caso di fughe di idrogeno ad alta pressione, per lo piú per autoaccensione.

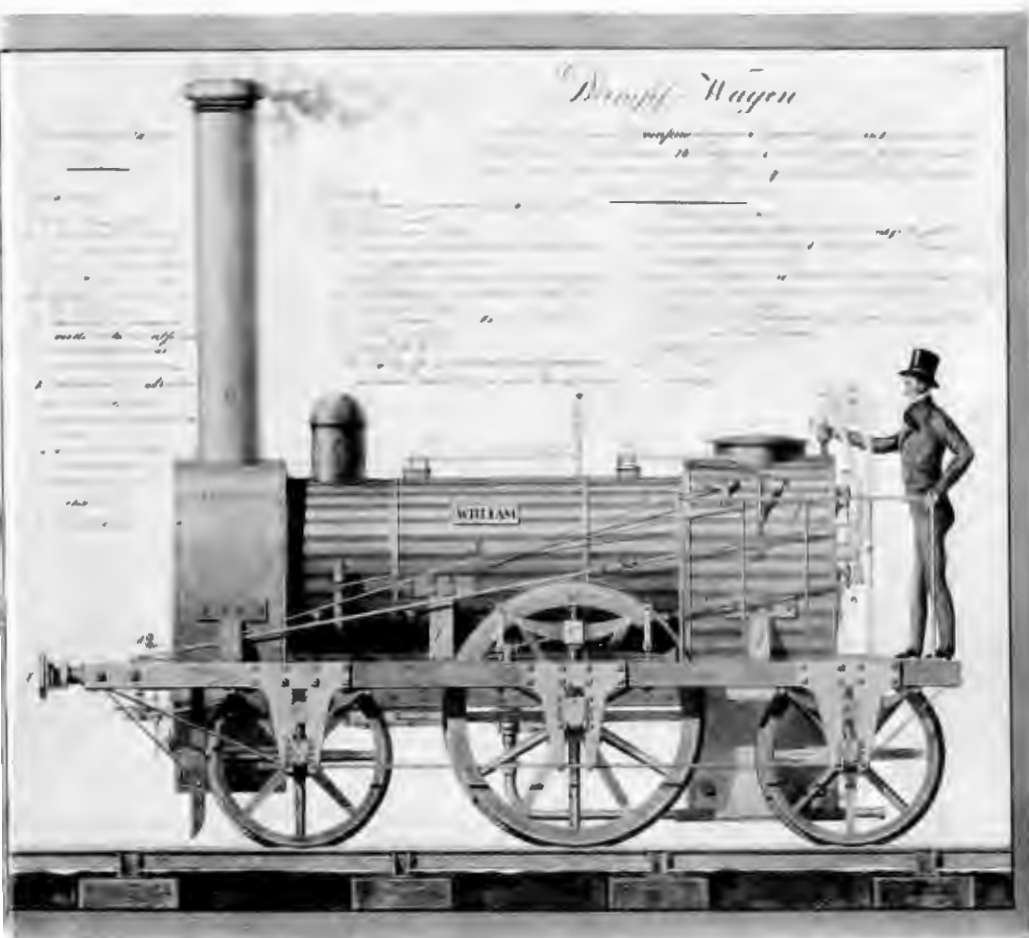
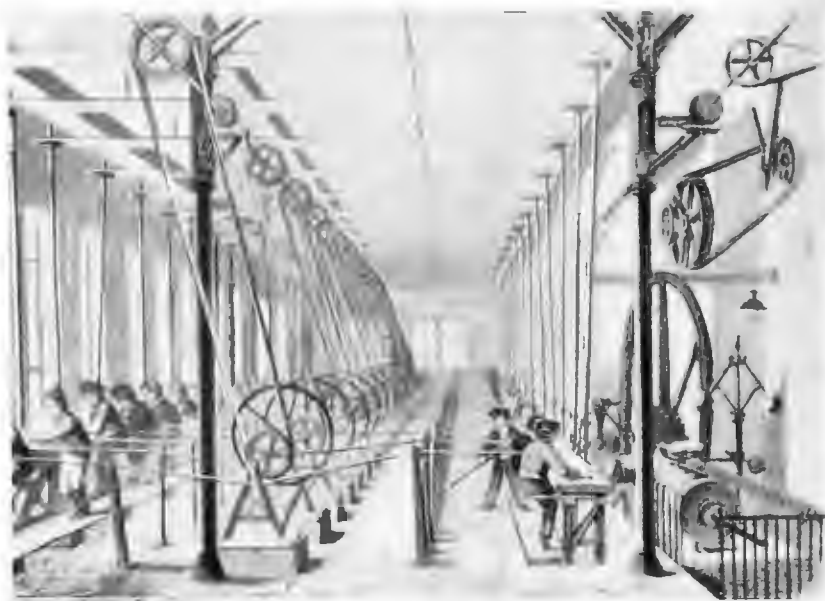
I due tubi acquistati da Mannesmann avevano una durata di 80 ore di servizio, quindi scoppiavano. Se noi li avessimo riempiti di osmio invece che con il nostro nuovo catalizzatore, ne avremmo già comprato tanto da esaurire completamente l'intera riserva mondiale...

La soluzione del problema tanto a lungo cercata consisteva nel fatto che il mantello d'acciaio resistente alla pressione era provvisto internamente di una foderina piú sottile di ferro dolce, di modo che l'idrogeno che passa attraverso questa foderina e che già da solo tende a diffondersi, trovi modo di sfuggire privo di pressione, prima di aver potuto attaccare il mantello esterno d'acciaio per effetto dell'alta temperatura. Ciò si ottenne facilmente provvedendo esternamente il tubo di rivestimento di scanalature circolari e dotando il mantello esterno di un gran numero di piccoli fori, attraverso i quali l'idrogeno può uscire liberamente. Il tubo interno di rivestimento si appoggia fin dall'inizio assai fortemente contro il mantello, per effetto dell'alta pressione, ed anche quando è diventato fragile, esso non può muoversi o presentare

spaccature; le perdite per diffusione sono minime...

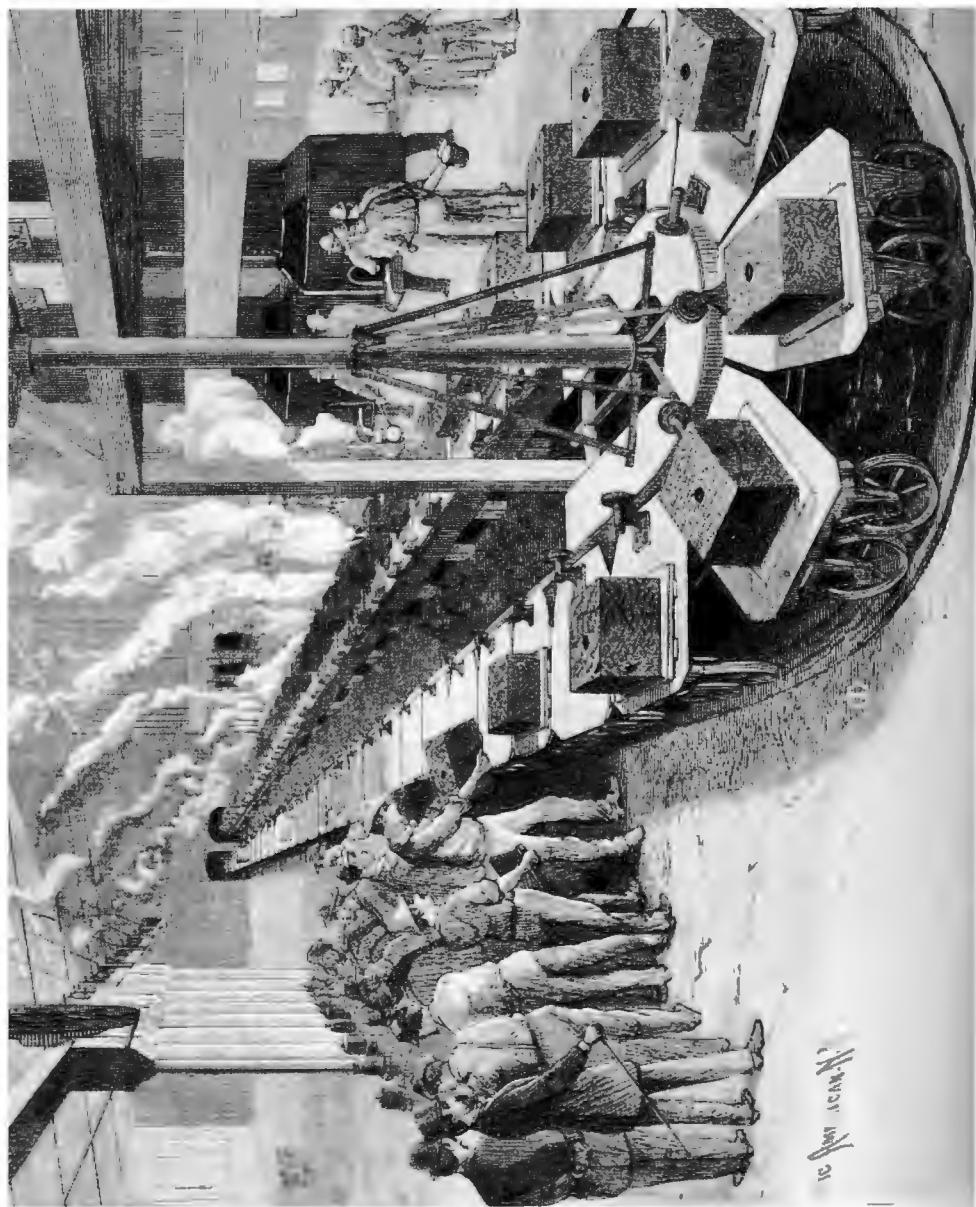
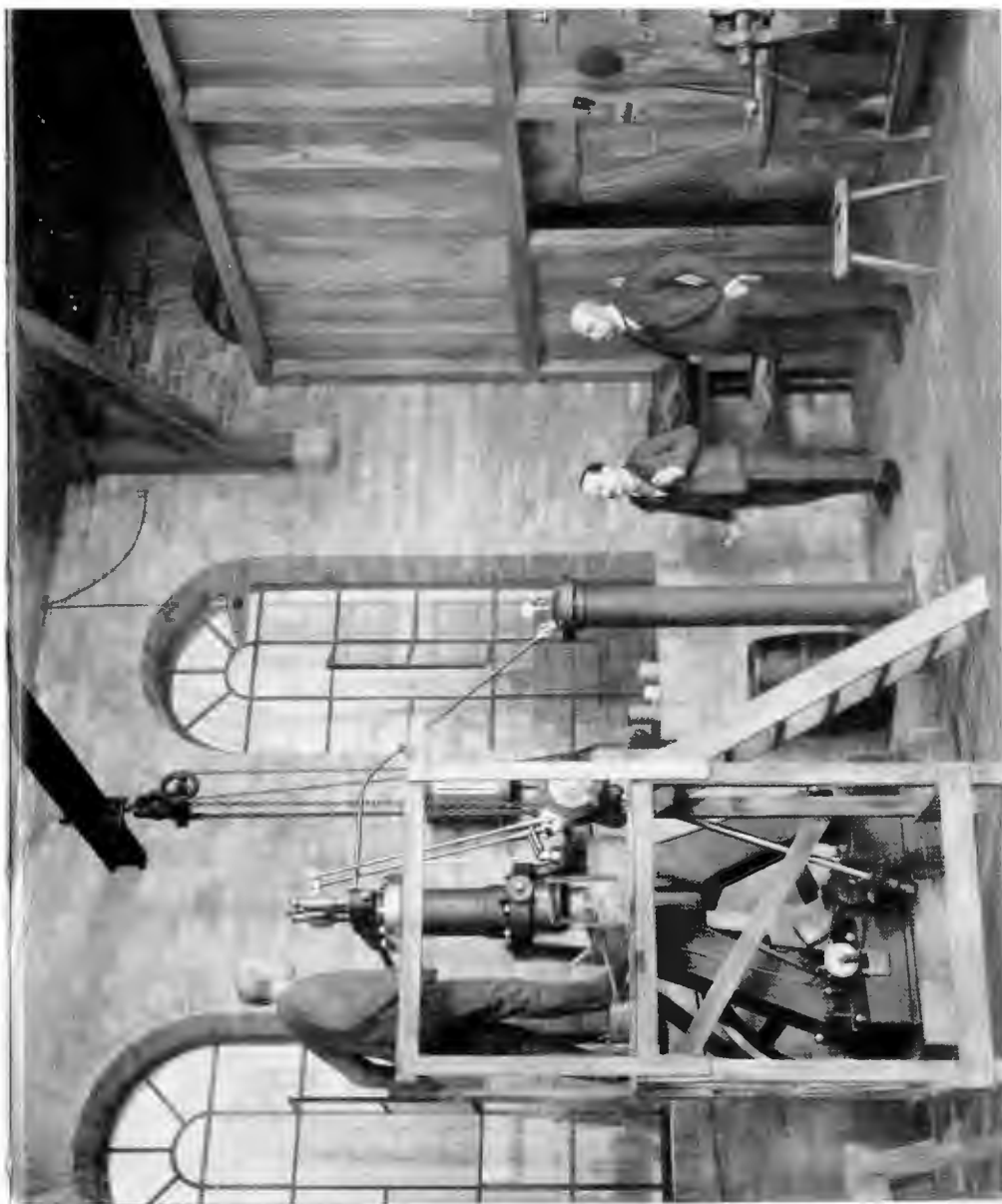
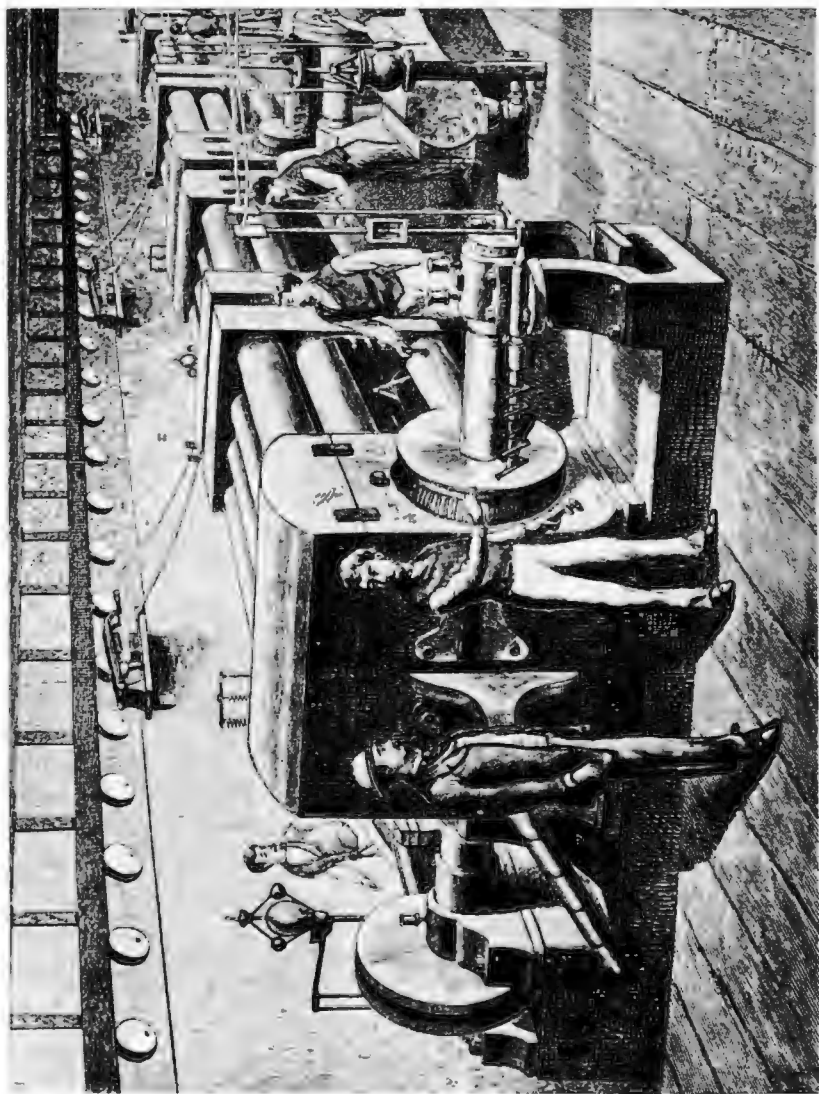
Il tubo di contatto veniva riscaldato dall'esterno a gas. Con questo apparecchio si lavorò per la prima volta per un lungo periodo di normale esercizio. Ma la speranza di essere venuti a capo finalmente di tutte le difficoltà andò delusa. I mantelli d'acciaio dei forni, anche se non venivano distrutti dall'idrogeno, non erano adatti per resistere a lungo alle alte pressioni combinate con le alte temperature provocate dal riscaldamento dall'esterno. Su di essi si formavano delle bolle, poi delle crepe, e la conseguenza fu una serie di esplosioni: che risultarono inoffensive in quanto verificatesi entro locali a prova di scoppio, — ma d'altro canto le continue, alte spese di riparazione minacciavano fortemente l'economia del procedimento. Si dovette pertanto trovare un'altra via di uscita, e questa consistette nell'apportare il calore dall'interno. Anche in questo caso non ci fidavamo ancora completamente del riscaldamento interno realizzato elettricamente, in quanto contavamo su grosse ed inevitabili perdite di calore per non far diventare troppo caldo il mantello. Provammo quindi con il riscaldamento a gas, facendo bruciare l'idrogeno (gas di sintesi) con aria addotta nei forni di contatto. In tal modo si aveva la formazione di una certa quantità d'acqua, ma ciò sembrava non danneggiasse il contatto. In ogni caso questo era il male minore...

Passando a impianti di mole sempre maggiore, si era verificato che al di sopra di una certa dimensione era possibile, con una buona trasmissione del calore, sopperire alle perdite termiche con il calore di reazione. Si trattava di un notevolissimo progresso, in quanto potevamo cosí rinunciare al riscaldamento continuo durante il processo. Restava ancora il problema di portare all'inizio i forni alla giusta temperatura. Il riscaldamento a gas presentava lo svantaggio che durante il periodo di riscaldamento il gas doveva esser fatto circolare in senso inverso rispetto al normale esercizio, per mantener libero il contatto dai prodotti di combustione. Ciò provocava notevoli inconvenienti, in quanto gli elementi del forno si fessuravano. Inoltre il calore doveva esssere addotto al gas con alti salti termici in una zona relativamente ristretta...

Grandi preoccupazioni ci procurarono agli inizi i compressori d'alta pressione. La tecnica conosceva a quell'epoca solo i compressori piú grossi destinati alla compressione dell'aria. Essi erano soprattutto impiegati per la produzione dell'aria compressa per l'azionamento di locomotive da miniera e per la liquefazione dell'aria nel processo Linde. Questi compressori ad alta pressione erano costruiti solo in dimensioni

Tav. XXV. *Locomotiva di Stephenson.* Anno 1837.

Tav. XXVI a. *Fabbrica di sapone con macchinari azionati a vapore.* 1850 circa.
b. Bambini al lavoro in una fabbrica di carta colorata. Anno 1858.

Tav. XXVII. *Tessitura di cotone con telai azionati a vapore.* Nel 1833 esistevano in Inghilterra già 85.000 telai di questo tipo.

Tav. XXVIII. *Macchine americane per la lavorazione del legno.* Esposizione universale di Filadelfia, del 1876.

Tav. XXIX. *La gigantesca macchina a vapore di Corliss.* Esposizione universale di Filadelfia, del 1876.

Tav. XXX. *Produzione in serie alla fine del secolo XIX: la fonderia della ditta Westinghouse a Pittsburg.*

Tav. XXXI. *Il primo motore diesel sul banco di prova delle officine meccaniche di Augusta.* Al centro: Rudolf Diesel; a destra: il direttore Heinrich Buz. Anno 1893.

Tav. XXXII. *La sala della dinamo nella prima centrale elettrica costruita nel 1882 a New York, Pearl Street, da Edison.*

modeste. Soprattutto il problema delle tenute a premistoppa aveva ricevuto poca attenzione. Nel caso dell'aria non si avevano perdite importanti, e si potevano prevedere anche brevi periodi di sosta; non cosi con l'idrogeno e con il delicato processo del contatto. Fughe di idrogeno significavano soldi e pericolo di esplosioni, e le apparecchiature di contatto non potevano sopportare interruzioni di servizio. Abbiamo esaurientemente sperimentato nel nostro stabilimento tutte le costruzioni che venivano realizzate a quell'epoca, ed in lunghi anni di lavoro siamo riusciti a ricavare dall'esperienza acquisita su quei piccoli compressori, che funzionavano senza inconvenienti al massimo una mezza giornata, i potenti gruppi da 3000 Hp che funzionano perfettamente per 6 mesi senza incidenti, per essere quindi sottoposti a regolare ciclo di manutenzione. Voglio rilevare a questo punto quanto sia importante proprio per la sintesi dell'ammoniaca un processo assolutamente regolare. Qualsiasi disturbo si verifichi in un punto si ripercuote su tutto il processo, e dura per ore dopo il disturbo stesso, fino a quando tutto non sia nuovamente in ordine. Non esagero se dico che tutto il profitto dipende da un processo regolare e privo d'inconvenienti. Per ottenere ciò, abbiamo impiegato anni. In questo sforzo ci sono stati particolarmente utili gli strumenti di controllo, ai quali abbiamo fin da principio rivolto la nostra attenzione, in quanto si era presto verificato che soltanto una registrazione continua consentiva di seguire i processi nei forni...

La installazione di un cosí grande e complesso impianto, quale esiste oggi nei nostri stabilimenti di Oppau e Leuna, e che comprende parecchie migliaia di metri di tubazioni e migliaia di flange e valvole, richiede naturalmente uno studio particolare. Anzitutto occorre che ogni parte sia a tenuta di gas. Ciò è stato realizzato in misura tale che le perdite di gas risultino sufficienti a non far troppo aumentare il tenore di argon proveniente dall'aria ed il metano che si accumula nel circuito.

L'impianto deve esser tale da garantire un funzionamento del tutto sicuro e da presentare la possibilità, in caso di inconvenienti, di rimuovere e vuotare nel modo piú rapido le parti interessate. Nel corso degli anni abbiamo potuto raccogliere una sufficiente esperienza...

Giungo ora alla conclusione. La realizzazione della sintesi dell'ammoniaca, portata a termine in un tempo relativamente breve, in parte durante il blocco dovuto alla guerra, grazie all'applicazione massima di tutte le forze e di tutti i mezzi, ha dato naturalmente motivo di sviluppare anche altre reazioni che si svolgono assai meglio sotto pres-

sione che non alla pressione atmosferica. Come allora l'esperienza aveva insegnato che è talvolta assai piú economico lavorare ad alta pressione, quando si sa dominare tecnicamente la sintesi in pressione, cosí si deve badare che anche le pressioni parziali, sia dei gas di reazione, sia delle impurità, siano corrispondentemente elevate...

Già all'inizio dei nostri lavori abbiamo eseguito ricerche sulla riduzione dell'ossido di carbonio mediante idrogeno, ed abbiamo cosí potuto stabilire che si possono ottenere prodotti di reazione allo stato fluido costituiti da miscele di alcoli, aldeidi, chetoni e relativi acidi della serie alifatica. Solo piú tardi (all'inizio del 1923) ci si accorse che il primo prodotto di reazione, l'*alcool metilico,* si produce in abbondanza solo quando si impiegano gas esenti da ferrocarbonile e masse di contatto esenti da ferro (principalmente ZnO - $Cr_2 O_3$) e si evita inoltre l'influenza delle pareti di ferro dei recipienti, che hanno un effetto condensante nell'alcool metilico. Presto si determinò l'optimum delle condizioni di lavoro, che produssero un'alta resa di alcool metilico puro, e cosí si poté sviluppare assai rapidamente la sintesi, di modo che il metanolo è diventato oggi uno dei prodotti piú a basso prezzo dell'industria chimica. Se ne devono produrre almeno 40.000 tonnellate all'anno con il metodo della sintesi ad alta pressione.

Un'altra reazione che fu presa in considerazione è la formazione dell'*urea* a partire dall'acido carbonico e dall'ammoniaca, con eliminazione di acqua...

Oltre ad altri processi sotto pressione di limitata importanza, particolare interesse ha destato negli ultimi anni l'idrogenazione del carbonio. Com'è noto, e come abbiamo ricordato, Bergius aveva trovato che riscaldando il carbone in presenza di idrogeno ad alta pressione, si formavano in grande quantità prodotti di reazione gassosi. Fu quindi stabilito nei nostri laboratori che queste reazioni potevano essere meglio controllate con l'impiego di catalizzatori, e che si potevano portare fino a produrre qualsiasi composto finale, dagli idrocarburi leggeri fino agli oli lubrificanti. Dopo aver ottenuto il relativo brevetto di Bergius, questo processo è stato intrapreso su vasta scala nei nostri stabilimenti di Oppau e Leuna, sulla base della nostra esperienza nel campo della tecnica delle alte pressioni e della produzione di catalizzatori, e produce attualmente 120.000 tonnellate di benzina all'anno. [217]

Con la prima utilizzazione dell'energia nucleare dell'atomo, nel corso della seconda guerra mondiale, ebbe inizio una nuova era tecnica. Nel

Medioevo stesso, per vari secoli, quasi tutto il lavoro tecnico veniva compiuto con la forza dell'uomo; successivamente assunsero importanza le forze degli animali, dell'acqua e del vento. A partire dal XVIII secolo si utilizzarono le energie di natura chimica riposte nel carbone e piú tardi negli oli combustibili, mediante macchine motrici termiche di tipo diverso. Ed ora ai giorni nostri, all'energia chimica si affianca l'energia nucleare dell'atomo. Tutte le forme di energia, dell'acqua, del vento, del carbone, degli oli, si riconducono in ultima analisi al sole, la cui abbondanza d'energia va attribuita ai processi di natura nucleare. Ora però l'uomo è in grado di liberare da solo l'energia nucleare dagli elementi terreni, scatenando cosí inestimabili tesori d'energia. Nel 1938 O. Hahn e F. Strassmann avevano scisso l'elemento uranio, mediante bombardamento neutronico, in elementi che occupano la zona centrale del sistema periodico. Lise Meitner e O. R. Frisch avevano trovato nel 1939 che questi processi di scissione si mantengono da soli con uno sviluppo estremamente grande di energia. Ciò costituiva la base scientifica per una utilizzazione dell'energia nucleare. In Germania, come pure in Inghilterra ed in America, dove si lavorava al problema dell'energia atomica, si riconobbe presto che il processo di fissione si mantiene come reazione a catena, che si può controllare allo scopo di ottenere una uniforme produzione di calore in senso statico, o che, incontrollato, si può sfruttare per provocare potenti esplosioni. La guerra fece inesorabilmente pendere la bilancia in favore della reazione a catena incontrollata, di caratteristiche esplosive. In America, con tenace lavoro e con un colossale dispendio di mezzi, si pervenne alla realizzazione della bomba atomica, che fu sperimentata per la prima volta nel suo spaventoso effetto il 16 luglio 1945. La prova viene descritta drammaticamente nel Rapporto ufficiale americano dell'esperimento.

Il trionfale ingresso dell'umanità in una nuova epoca, l'epoca dell'atomo, avvenne il 16 luglio 1945 davanti agli occhi di un ristretto gruppo di famosi scienziati e di militari, riuniti nel deserto del New Mexico per assistere ai primi risultati finali della loro attività, costata due miliardi di dollari. Qui, in una sezione separata della base aerea di Alamogordo, 120 miglia (200 km.) a sud-est di Albuquerque, fu provocata dalla mano dell'uomo, alle 5.30 di mattina, la prima esplosione atomica, eccelsa realizzazione della fisica nucleare. Un cielo oscurato, una forte pioggia accompagnata da lampi, fino all'ora zero,[10] accrebbero l'aspetto drammatico dell'avvenimento.

Fissata alla sommità di una torre d'acciaio stava un'arma rivoluzionaria, destinata a modificare la guerra quale noi la conosciamo, oppure a porre termine a tutte le guerre, caricata con una potenza tale da annunciare l'ingresso dell'umanità in un nuovo mondo fisico. Il

successo fu maggiore di quanto le piú ottimistiche considerazioni avessero fatto presagire. Un pugno di materia, prodotto ultimo di una catena di colossali industrie realizzate appositamente per questo scopo, doveva servire a liberare l'energia dell'universo, rinchiusa nell'atomo dall'inizio dei tempi. Un'impresa favolosa era stata compiuta. Le speculazioni teoriche, appena iniziate nei laboratori dell'anteguerra, venivano proiettate nella realtà pratica.

Questa fase dell'operazione relativa alla bomba atomica, alla quale presiedeva il maggior generale *Leslie R. Groves*, fu diretta dal dottor *J. R. Oppenheimer*, il fisico teorico dell'Università di California. A lui si deve la realizzazione finale delle apparecchiature per l'impiego dell'energia atomica per scopi militari.

La tensione, prima dell'accensione vera e propria dell'esplosione, era salita ad un livello terribile. La possibilità di esplosioni accidentali sussisteva sempre. Anche un successo eccessivo, come presagivano alcuni dei presenti, poteva significare un'arma incontrollabile, e quindi impossibile da adoperare.

La fase finale del montaggio della bomba atomica cominciò il 12 luglio, di notte, in un vecchio *ranch*. Mentre le diverse parti dei pezzi da smontare arrivavano da punti lontani, l'eccitazione degli scienziati andava crescendo sempre di piú. Il piú freddo di tutti era l'uomo che aveva l'incarico di montare il cuore della bomba, il dottor *R. F. Bacher*, in tempi normali professore alla Cornell University.

L'intero costo dell'operazione, che comprendeva la costruzione di intere città e di impianti completamente nuovi che si estendevano per miglia e miglia di terreno, oltre all'esecuzione di esperimenti senza precedenti, era riassunto nella bomba sperimentale e nelle sue parti. Questo era il punto cruciale del rischio. Nessun altro paese della terra era stato in grado di sostenere un tale dispendio di lavoro intellettuale e di sforzi tecnici.

Il pieno significato del momento conclusivo di questo esperimento era ben chiaro davanti agli occhi di quegli uomini di scienza. Essi comprendevano pure che bastava un solo passo falso per annullare per sempre tutto il loro lavoro. Prima che il montaggio incominciasse, il brigadiere generale *Thomas F. Farrell*, rappresentante del generale *Groves*, firmò una ricevuta di tutti i diversi oggetti. Questo significava formalmente la consegna del materiale insostituibile all'esercito da parte degli scienziati.

Durante la preparazione del montaggio finale si ebbero alcuni brutti momenti, in quanto il montaggio di una parte importante della

bomba veniva ritardato. Tutte le parti erano lavorate a macchina con la massima precisione. L'introduzione del pezzo era in parte avvenuta, quando esso sembrò incastrarsi e non voleva andar oltre. Il dottor *Bacher*, sempre calmo, assicurò il gruppo che il problema sarebbe stato risolto. Dopo tre minuti si avverò l'affermazione del dottor *Bacher*, ed il montaggio fu compiuto senza altri incidenti.

Squadre speciali, formate dagli uomini di punta dei rispettivi settori scientifici che avevano a che fare con l'operazione, si assunsero la loro parte di lavoro nel montaggio. In ciascun gruppo di lavoro erano concentrati mesi, perfino anni di sforzi diretti ad un solo obbiettivo.

Sabato 14 luglio tutto il complesso approntato, dal quale dipendeva il successo o il fallimento dell'intera operazione, fu sollevato sulla cima della torre metallica. L'intero giorno ed il giorno seguente proseguirono i lavori preparatori. Oltre agli apparecchi destinati a provocare la detonazione, fu posto sulla torre tutto un complesso di strumenti per determinare lo scoppio e tutte le reazioni della bomba.

L'inclemenza del tempo, che aveva perseguitato il montaggio della bomba, ebbe un effetto deprimente su tutto il gruppo di esperti la cui opera si era svolta in mezzo al balenare dei lampi ed al rumoreggiare dei tuoni. Un tempo cosí perturbato fece escludere la possibilità di seguire la prova dall'aria. Esso fece perfino spostare lo scoppio della bomba, che era stato fissato per le 4 del mattino, di un'ora e mezzo. Da piú mesi la data e l'ora dell'esplosione erano state approssimativamente stabilite; esse avevano costituito il piú importante fra i segreti maggiormente custoditi dell'intera guerra.

Il punto di osservazione piú vicino si trovava a 10.000 yarde (9,14 km.) a sud della torre, dove in un rifugio di legno e terra erano sistemati i comandi dell'esperimento. In un punto che consentiva la miglior osservazione, e che era posto a 17.000 yarde (15,5 km.) dalla torre, si raccolsero i principali responsabili dell'operazione. Fra questi erano il generale *Groves*, il dottor *Vannevar Bush*, direttore dell'Ufficio per le ricerche scientifiche ed il progresso, ed il dottor *James R. Conant*, presidente della università di Harvard.

L'innesco della detonazione era affidato al dottor *K. T. Bainbridge* del Massachusetts Institute of Technology. Egli ed il luogotenente *Bush* della Military Police furono le ultime persone che ispezionarono la torre con il suo ordigno.

Alle tre di mattina il gruppo si avviò verso la stazione di comando. Il generale *Groves* ed il dottor *Oppenheimer* si consultarono con

i meteorologhi. Fu presa la decisione di proseguire con l'esperimento malgrado l'avversità del tempo. L'ora fu stabilita alle 5.30 del mattino.

Il generale *Groves* s'incontrò nuovamente con il dottor *Conant* ed il dottor *Bush*, e poco prima dell'esplosione essi ebbero una riunione con i numerosi scienziati raccolti nel campo base. Qui venne ordinato a tutti i presenti di stendersi a terra, con la faccia verso il terreno, e la testa nella direzione opposta a quella dell'esplosione.

La tensione nella sala dei comandi raggiungeva livelli spasmodici a mano a mano che s'avvicinava l'ora zero. I diversi punti di osservazione sul terreno erano collegati via radio con la sala dei comandi, e 20 minuti prima dell'esplosione il dottor *S. K. Allison* dell'Università di Chicago si pose alla radio e diede periodici segnali di tempo.

I segnali "ancora 20 minuti," "ancora 15 minuti," ecc., aumentarono la tensione fino allo spasimo, di modo che il gruppo nella sala comandi, comprendente il dr. *Oppenheimer* e il generale *Farrell*, tratteneva il respiro, teso a quell'istante, che rimarrà vivo per sempre nel ricordo di tutti i presenti. Al segnale "ancora 45 secondi" fu messo in moto il meccanismo a funzionamento automatico, e da quel momento prese ad operare l'enorme quantità di complicati e raffinati meccanismi non guidati dall'uomo. Ad un pulsante di riserva era sempre posto uno scienziato appartenente all'esercito, pronto a cercare di fermare l'esplosione, se ne avesse ricevuto l'ordine. Ma questo ordine non venne dato.

All'istante prestabilito apparve un lampo accecante, che illuminò tutta la regione piú della piú chiara luce del giorno. Una catena di montagne, lontana piú di tre miglia dal punto di osservazione, apparve in pieno rilievo. Giunsero quindi un prolungato fragore e un tremito del suolo ed una potente ondata di pressione, che gettò a terra due uomini che si trovavano fuori della sala comandi. Immediatamente dopo cominciò a ribollire una nube colossale e multicolore, che oscillava sollevandosi fino ad un'altezza di oltre 40.000 piedi (12.184 m.). Sul suo percorso le nubi sparivano. Presto i mutevoli venti substratosferici dispersero la massa ormai divenuta grigiastra.

L'esperimento era terminato, l'impresa era stata coronata dal successo.

La torre metallica era completamente volatilizzata. Al suo posto era un immenso cratere. Impolverati, ma illuminati dal successo del loro esperimento, gli scienziati raccolsero le loro forze, per giudicare della potenza della nuova arma dell'America. Per esaminare il cratere, furono fatti avanzare sul terreno carri armati dotati di apparecchiature

speciali; su uno di essi si trovava il dottor *Enrico Fermi*, il famoso fisico nucleare. La risposta alle loro scoperte è costituita dalla distruzione oggi apportata in Giappone dal primo impiego militare della bomba atomica. [218]

La prima utilizzazione della nuova arma per scopi militari, testé menzionata, è rappresentata dall'attacco atomico americano contro le città di Hiroshima e Nagasaki in Giappone nell'agosto del 1945. L'effetto distruttivo fu spaventoso. Dopo la guerra si intraprese anche lo sfruttamento dell'energia atomica per scopi pacifici. Grandi impianti stanno per sorgere. Un piccolo motore atomico sperimentale fu messo in esercizio nel 1953 negli Stati Uniti; esso aziona un turbogeneratore della potenza di 250 kW. Ci vorrà ancora tuttavia qualche tempo prima che l'energia atomica entri in concorrenza economica con quella derivante dal carbone e dal petrolio. Ma con lo stesso zelo con il quale ci si applica a realizzare la macchina ad energia atomica, cosí pure ci si sforza di sviluppare ulteriormente la bomba atomica. La bomba ad idrogeno è un ulteriore gradino nel "perfezionamento" di questa arma che è la piú terribile fra quante l'uomo abbia mai inventate. Possano alfine gli uomini trovare la fiducia reciproca, per modo che la enorme potenza dell'energia atomica scatenata dalla scienza e dalla tecnica serva in futuro ancora soltanto per scopi pacifici.

La grande conquista tecnica costituita dallo sfruttamento dell'energia atomica, con la quale incominciò una nuova epoca della tecnica, fu presto affiancata da uno sviluppo tecnico altrettanto ricco di conseguenze, e cioè la realizzazione delle calcolatrici elettroniche e dei sistemi di regolazione, che fra l'altro portarono all'automazione nelle fabbriche. Gli autori americani sono convinti che questo processo porterà ad una seconda rivoluzione industriale che, per effetti psicologici, sociali ed economici, non sarà in nessun modo inferiore alla prima, quella causata dall'introduzione della macchina a vapore e delle nuove macchine operatrici.

La calcolatrice elettronica fu realizzata in America già durante la guerra, e portata ad un elevato grado di efficienza, soprattutto per l'esecuzione di calcoli balistici. H. Mauchly e J. P. Eckert costruirono nel 1942-1946 la grande calcolatrice elettronica denominata ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer), dotata di 18.000 tubi elettronici. Complicati calcoli matematici possono venir eseguiti con questa macchina con una rapidità straordinaria. La calcolatrice elettronica "annota" pure risultati intermedi per rielaborarli in tempi successivi. Essa può perfino prendere delle "decisioni" sul modo come continuare un determinato calcolo, scegliendo, in base ai risultati intermedi, la strada da seguire fra quelle predisposte nel suo programma.

Con un'apparecchiatura analoga a quella che costituisce una calcolatrice elettronica si può anche regolare l'andamento del lavoro delle mac-

chine in una fabbrica. Le macchine operatrici sottraggono all'uomo il lavoro meccanico, le apparecchiature elettroniche di regolazione lo sollevano pure del lavoro di "routine" mentale. Nella fabbrica automatica la macchina corregge da sola i propri errori. Una volta che la fabbrica sia stata dotata di impianti di automazione, l'uomo non ha che da provvedere alla supervisione ed alle necessarie riparazioni delle varie macchine installate: diventa un semplice igienista, il medico delle macchine. Si comprende come una simile automazione delle fabbriche debba comportare notevoli cambiamenti nel campo economico ed in quello sociale. Anche il lavoro d'ufficio viene automatizzato mediante i dispositivi elettronici. I confini fra ufficio e officina vengono cosí a sparire.

Si indulge spesso oggi a chiamare le grandi calcolatrici elettroniche "macchine pensanti" o "cervelli elettronici"; ma queste macchine non sono in realtà dotate di pensiero, né hanno d'altronde nulla di proprio dell'uomo.[11] Anche se prendono delle decisioni, non sono dotate di libera volontà: non fanno che eseguire un processo logico già prima in esse predisposto.

Una eccellente visione del problema dell'automazione ci viene fornita dal matematico americano Norbert Wiener, che ha pure grandemente contribuito al progresso nel campo delle apparecchiature di comunicazione e di regolazione.

La calcolatrice rappresenta il cuore della fabbrica automatizzata, ma non costituisce da sola l'intera fabbrica. Da un lato riceve indicazioni dettagliate da elementi che corrispondono agli organi del senso. Come "organi di senso" penso alle cellule fotoelettriche, ai condensatori per la determinazione dello spessore dei fogli di carta, ai termometri, ai misuratori di concentrazione di ioni idrogeno, ed a un gran numero di altri apparecchi che sono costruiti dalle fabbriche di strumenti anche per il controllo non automatico dei processi industriali. Questi strumenti vengono già oggi costruiti in modo da riportare le loro indicazioni per via elettrica su un centralino posto a qualche distanza. Perché l'informazione da essi fornita possa essere introdotta in una calcolatrice automatica rapida, è sufficiente che essi vengano muniti di un dispositivo che legga un valore di posizione o di scala e lo traduca in una serie di cifre nello schema. Già esistono dispositivi del genere, e né il loro principio né le loro particolarità costruttive presentano grandi difficoltà. Il problema degli organi di senso non è nuovo, ed esso ha già avuto ottime soluzioni.

Oltre a questi organi sensoriali, il sistema di regolazione deve essere dotato di attuatori, o organi di azionamento, che agiscono sul mondo esterno. Alcuni di questi sono di tipo già noto, come i motori

che azionano le valvole, i giunti elettrici ed altri simili dispositivi. Altri devono ancora essere realizzati, per sostituire nel miglior modo possibile le funzioni che vengono compiute dalla mano dell'uomo, guidata dagli occhi. Nella lavorazione a macchina dello chassis delle automobili è senz'altro possibile lasciare alcuni punti metallici che servano di riferimento sulla superficie liscia del pezzo; l'utensile, si tratti di un trapano o di una chiodatrice o d'altro, viene dapprima portato in vicinanza della superficie da lavorare mediante un dispositivo fotoelettrico, eccitato ad esempio da punti colorati. La messa in posizione definitiva si può quindi effettuare mediante questi punti di riferimento, in modo da ottenere un contatto non troppo stretto con essi. Questo sarebbe un modo per risolvere il problema. Qualsiasi ingegnere un po' esperto della cosa potrà trovare un'altra dozzina di soluzioni.

Naturalmente si fa l'ipotesi che i dispositivi che agiscono come organi di senso non riportino solo lo stato istantaneo del lavoro, ma riferiscano anche sull'andamento del lavoro di tutti i processi in corso. Cosí la macchina potrà eseguire processi di regolazione, sia del tipo semplice già a sufficienza illustrato, sia quelli che comportano complicati procedimenti di differenziazione, che possono essere eseguiti dalla regolazione centrale con il suo "cervello" logico o matematico. In altre parole: l'intero sistema diventa uguale ad un completo organismo, con i suoi organi sensoriali, i suoi attuatori e autoricettori, e non corrisponde piú, come la calcolatrice rapida, ad un cervello isolato, che dipende dalla nostra ragione per la sua alimentazione e il suo funzionamento.

La rapidità con la quale questa nuova invenzione entrerà nell'uso industriale, sarà molto diversa per i diversi rami dell'industria. Apparecchi automatici, forse non esattamente uguali a quelli qui descritti, ma che grosso modo compiono le stesse funzioni di questi, sono già ampiamente impiegati nelle industrie aventi un processo di produzione continuo, come le fabbriche di scatole di latta, i laminatoi, e particolarmente le trafilerie di fili e lamierini metallici. Pure frequenti sono nelle industrie cartarie, che hanno pure un ciclo continuo di lavorazione. Essi sono indispensabili anche in quei processi produttivi la cui regolazione è connessa a gravissimi pericoli per un gran numero di lavoratori, e nei quali un incidente risulterebbe talmente grave e costoso, che si preferisce prevederne in anticipo la possibilità e non lasciarne il rimedio all'eccitata improvvisazione del momento in cui si verificasse. Se si può elaborare in partenza un ciclo di lavorazione, sarà pure possibile riportarlo in un programma, che provveda a regolarne

il corso previsto in armonia con le indicazioni degli strumenti dell'impianto. In altre parole, queste fabbriche dovrebbero essere sottoposte ad un sistema di comando, che assomiglia a quello dello smistamento dei treni, con i suoi scambi e le sue segnalazioni. Un tale sistema è già in uso nelle raffinerie di petrolio, come pure in altri impianti chimici e nella lavorazione delle materie nocive che vengono impiegate per la utilizzazione dell'energia atomica.

Abbiamo già detto che questi metodi vengono impiegati nelle produzioni a ciclo continuo. Nella produzione continua, come negli impianti chimici o nella produzione continua della carta, è necessario esercitare anche un certo controllo statistico sulla qualità della produzione. Questi controlli si basano sulla campionatura. *Wald* e altri hanno fatto oggi di questa compionatura un vero e proprio metodo, chiamato analisi sequenziale; secondo questo metodo non si prelevano piú campioni stabiliti in precedenza, ma la campionatura avviene come processo continuativo, di conserva con la produzione. Poiché questa operazione è ora talmente standardizzata da poter essere affidata ad un calcolatore esperto di statistica che non conosca le teorie che formano il substrato del motodo, potrà essere compiuta agevolmente anche da una macchina calcolatrice; cosí la macchina provvede, con l'eccezione di pochi casi particolari, al regolare controllo statistico, come provvede al processo di produzione vera e propria.

In generale nelle fabbriche la parte amministrativa è indipendente dalla produzione. Tutti i dati relativi alla calcolazione dei costi, in quanto provenienti dalla macchina o dalla catena di produzione, vengono passati direttamente alla calcolatrice. Altri dati possono essere rilevati di tanto in tanto da operatori umani, ma la gran parte del lavoro di scritturazione potrebbe essere eliminata. Si dovrebbero avere ancora degli impiegati per la corrispondenza con l'esterno e cose analoghe; ma anche per questo una gran parte del lavoro potrebbe essere ricevuta dai corrispondenti su schede perforate, o potrebbe essere trasferita su schede perforate da forze di lavoro a prezzo estremamente basso. Da questo momento in poi tutto può essere compiuto dalla macchina. Anche una parte non trascurabile del lavoro di contabilità e registrazione di un'azienda industriale potrebbe pertanto venir meccanizzata.

In altri termini: la macchina è di una sola specie, sia per il lavoro da operaio, sia per il lavoro da ragioniere. La nuova rivoluzione industriale penetrerà pertanto in molti campi e conquisterà tutti i lavori la cui esecuzione dipende da decisioni semplici, analoga-

mente a quanto fatto dalla prima rivoluzione industriale, che ridusse le forze di lavoro umane in tutti i campi. Ci saranno naturalmente dei rami professionali nei quali la nuova rivoluzione non entrerà; sia perché le nuove macchine di regolazione non risultano economiche per quelle industrie che non possono sostenerne il costo; sia perché la molteplicità dei lavori eseguiti in una sola industria richiederebbe quasi per ciascuna operazione una nuova programmazione. Non credo che macchine automatiche del tipo descritto possano venir usate dal droghiere all'angolo della strada o dal distributore di benzina nel cortile di casa, mentre me le posso benissimo immaginare presso il grossista o il commerciante d'automobili. Anche il contadino, per quanto cominci a sentire il loro influsso, è protetto dal loro pieno assalto, sia a causa del suolo che egli deve lavorare, sia a causa delle varietà dei prodotti che egli deve raccogliere, sia a causa delle diverse condizioni atmosferiche delle quali deve tener conto. Malgrado ciò, il proprietario della fattoria dipenderà sempre piú dalle macchine per la raccolta del cotone e dalle macchine per bruciare le erbacce, cosí come il coltivatore di frumento già da tempo dipende dalla trebbiatrice di McCormick. Laddove si impiegano macchine simili, si può immaginare anche un certo impiego di macchine automatiche.

Come e quando verranno introdotte le nuove macchine dipende naturalmente dalle condizioni economiche, delle quali io non sono esperto. Prescindendo da grandi mutamenti politici o da una nuova guerra mondiale, direi che grosso modo fra 10-20 anni le nuove macchine si saranno imposte. Una guerra cambierebbe completamente tale situazione. Qualora fossimo implicati in una guerra con una grande potenza come l'Unione Sovietica, la nostra fanteria e quindi le nostre riserve di uomini sarebbero sottoposte a gravosissime esigenze, e la nostra produzione industriale potrebbe venir mantenuta solo a prezzo di gravi difficoltà. In tali circostanze, la sostituzione delle forze di produzione umane con altri mezzi di produzione diverrebbe per noi una questione di vita o di morte. Nel processo di realizzazione di un sistema unitario di macchine di regolazione automatica abbiamo già raggiunto lo stadio nel quale ci trovavamo nel 1939 con lo sviluppo del radar. Come la pericolosa situazione creatasi per la battaglia d'Inghilterra portò ad intensificare con ogni mezzo la soluzione del problema del radar, accelerando il naturale progresso in questo campo, che avrebbe altrimenti richiesto ancora decine di anni, cosí avverrebbe probabilmente nel caso di un nuovo conflitto per la ne-

cessità di sostituire i lavoratori umani. La schiera di specialisti radio-amatori, matematici e fisici che fu allora rapidamente trasformata per lo studio del radar in schiera di ingegneri elettrotecnici è ancora disponibile per lo sviluppo delle macchine automatiche, ed una nuova generazione da essi formata sta crescendo.

In simili circostanze, il periodo di due anni occorso per portare il radar completamente sviluppato sul campo di battaglia, non verrebbe superato di molto anche per la completa automazione. Al termine di una siffatta guerra, le conoscenze necessarie per la costituzione di fabbriche del genere sarebbero diventate di dominio comune. Degli apparecchi fabbricati per il governo, molti diverrebbero presto superflui e verrebbero probabilmente venduti o resi disponibili all'industria. Cosí una nuova guerra vedrebbe quasi inevitabilmente il pieno affermarsi dell'epoca dell'automazione in meno di cinque anni.

Ho detto come questi nuovi processi produttivi siano attuali ed importanti. Quali effetti economici e sociali potremo aspettarcene? Anzitutto la richiesta di quelle forze di lavoro adatte solamente a compiere un semplice lavoro di ripetizione continua verrebbe immediatamente e definitivamente a cadere. A lunga scadenza, ciò sarebbe da salutare come la fine di quei lavori di natura mortalmente tediosa, e annuncerebbe contemporaneamente quella liberazione che è necessaria per giungere ad una cultura organica degli uomini. Naturalmente esiste anche la possibilità che cosí si verifichino fenomeni culturali secondari, superficiali e superflui, come quelli derivanti finora dalla radio e dal cinema.

Sia come si sia, i primi tempi di questi nuovi metodi, soprattutto se si presentassero d'improvviso per effetto di una nuova guerra, porterebbero ad un periodo di generale disorientamento. Sappiamo bene come gli industriali considerino un nuovo potenziale industriale: tutti i loro sforzi tendono ad ottenere che esso non venga considerato come un affare del governo, ma che esso venga lasciato aperto a tutti gli imprenditori che desiderino di investire denaro in esso. Sappiamo pure che essi hanno ben pochi scrupoli quando si tratta di estrarre da un'industria tutto l'utile che se ne può cavare, e di lasciare per gli altri soltanto le briciole. Tutta la storia dell'industria del legno e dei minerali è fatta solo di simili esempi. Ciò appartiene a quel fenomeno che già in altra parte abbiamo chiamato fede degli americani nel progresso.

In simili condizioni, l'industria adotterà i nuovi dispositivi nella misura nella quale essi possono promettere guadagni immediati, senza

prendere in considerazione i danni permanenti che si possono cosí causare. Si avrà qualcosa di simile a quanto avvenuto per la utilizzazione dell'energia nucleare: la sua applicazione alla bomba atomica ha reso problematica la possibilità di impiegarla al posto del nostro petrolio e del nostro carbone, le cui riserve saranno completamente esaurite in pochi secoli se non in pochi decenni. Si rifletta bene che la bomba atomica e l'economia dell'energia sono cose completamente diverse.

Ricordiamoci che l'automa, a parte la nostra opinione sui sentimenti che esso può possedere o meno, è l'esatto equivalente economico dello schiavo. Ogni lavoro che assomigli al lavoro degli schiavi, deve assimilarsi al lavoro degli schiavi anche nelle condizioni economiche. È pertanto chiaro che si produrrà una tale carenza di lavoro, paragonata alla quale le crisi momentanee e perfino la depressione del '29 appariranno come innocenti scherzetti. Questa crisi rovinerà molte industrie, e forse proprio quelle industrie che hanno tratto vantaggi dalle nuove possibilità di produzione. Ora nella tradizione industriale non v'è nulla che impedisca ad un industriale di intascare un sicuro e rapido guadagno e di lasciare poi la barca, prima che la bancarotta lo tocchi personalmente.

Cosí la nuova rivoluzione industriale è una lama a due tagli. Essa può venir usata per il benessere dell'umanità, ammesso che l'umanità viva abbastanza per giungere ad un'epoca in cui ciò sia possibile. Se intanto noi seguiamo le chiare e ben visibili linee del nostro comportamento tradizionale, e ci manteniamo fedeli alla nostra tradizionale deificazione del progresso e della quinta libertà, la libertà di sfruttamento, è certo che dovremo aspettarci un decennio o piú di prostrazione e disperazione. [219]

Proprio i nuovi progressi tecnici del mezzo secolo trascorso, nel quale la tecnica è divenuta sempre piú la potenza che influenza tutta la nostra vita, rendono particolarmente attuale ai giorni nostri la domanda relativa al senso ed ai limiti della tecnica. Nonostante tutto quanto di profondo e importante è stato detto ai nostri giorni su questo problema, vogliamo ancora una volta rivolgere indietro lo sguardo a Goethe, e concludere con le sempre valide parole degli *Anni di peregrinazione di Wilhelm Meister*.[13] "Sul terreno e nel suo grembo si trova, per i maggiori bisogni terreni, il materiale, un mondo di materia, affidato alle sublimi attitudini dell'uomo perché le elabori; ma su quelle vie spirituali si trovano sempre collaborazione, amore, libera e regolata operosità. Far muovere questi mondi l'uno rispetto all'altro, manifestare le loro mutue proprietà nel passeggero fenomeno della vita, questa è la sublime forma alla quale l'uomo deve aspirare."

Note

Parte prima

[1] Lips, J. E., *Vom Ursprung der Dinge*, Leipzig, 1951, pp. 92 sgg.
[2] Dingler, H., *Ueber die Geschichte und das Wesen des Experiments*, München, 1952, p. 15.
[3] Mennicken, P., *Die Technik im Werden der Kultur*, Wolfenbüttel, 1947, pp. 35 sgg.
[4] Guiraud, P., *La main-d'œuvre industrielle dans l'ancienne Grèce*, Paris, 1900, pp. 37 sgg.
[5] Breusing, A., *Die Lösung des Trierenrätsels*, Bremen, 1889, p. 116.
[6] Baldi, B., *In mechanica Aristotelis Problemata,* Moguntiæ, 1612, compendiato in D. Moegling, *Mechanische Kunstkammer*, Frankfurt a. M., 1629, parte 1, pp. 127-184.
[7] Rehm, A., *Zur Rolle der Technik in der griechisch-römischen Antike*, in "Arch. f. Kulturgesch.," *38*, 1938, p. 158.
[8] Rostovtzeff, M., *Gesellschaft und Wirtschaft im römischen Kaiserreich*, Leipzig, 1930, voll. 1, 2.
[9] Schmidt, W., *Heron von Alexandrien im 17. Jahrhundert*, in "Abh. z. Gesch. d. Mathem.," *8*, 1898, pp. 195-214.
[10] Drachmann, A. G., *Ktesibios, Philon and Heron*, Kopenhagen, 1948.
[11] Rehm, A., *art. cit.*, p. 161.

Parte seconda

[1] Maier, A., *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert*, Rom, 1949; Idem, *An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft*, 2 ed., Rom, 1952.

Parte terza

[1] W. Ryff nella sua traduzione in tedesco di Vitruvio.
[2] Huizinga, J., *Das Problem der Renaissance*, in *Wege der Kulturgeschichte*, München, 1930.
[3] Olschki, L., *Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur*, vol. 1, Leipzig, 1919.
[4] Babinger, F. u. Heydenreich, L. H., *Vier Bauvorschläge Leonardo da Vincis an Sultan Bajezid II*, 1502-1503, in "Nachr. Akad. Wiss. Göttingen," Phil-hist. Kl., 1952, n° 1.
[5] Tomaso da Rieti (anagramma: cfr. *Antonio Averlino Filarete's Tractat über die Baukunst*, herausgegeben und bearbeitet von W. von Oettingen, in "Quellenschriften

für Kunstgeschichte des Mittelalters und der Neuzeit," Wien, 1890, nuova serie, vol. 3, p. 727). [*N.d.R.*]

[6] Pavia (anagramma: cfr. W. von Oettingen, *op. cit.*, p. 470). [*N.d.R.*]

[7] Piacenza (anagramma: cfr. W. von Oettingen, *op. cit.*, p. 470). [*N.d.R.*]

[8] Intendi: riduceva in polvere le biade. [*N.d.R.*]

[9] Intendi: che andava benissimo per lavare ecc. — tanto era nero e spesso.

[10] *Gallicole*: le Gallinelle, ossia le Pleiadi.

[11] Lo Oettingen tradusse *Mond* (luna).

[12] Galilei, G., *Le mecaniche*, 1593, nelle *Opere*, ed. naz., vol. 12, Firenze, 1891, pp. 147 sgg.

Parte quarta

[1] Goethe, J. W. v., *Meteore des literarischen Himmels. Erfinden und Entdecken*, in *Werke*, Sophien-Augs., Weimar, 1893, sezione 2, voll. 11, p. 255.

[2] Goethe, J. W. v., *Ueber Naturwissenschaft im Allgemeinen*, in *Werke*, cit., sezione 2, voll. 11, p. 134.

[3] Il segno del Sole ☉ significa *aurum* (oro), il segno della luna ☽ *argentum* (argento), il segno di Saturno ♄ *plumbum* (piombo), il segno di Giove ♃ *stannum* (stagno), il segno di Venere ♀ *cuprum* (rame) ed il segno di Marte ♂ *ferrum* (ferro).

[4] In italiano nel testo. [*N.d.T.*]

[5] I minatori tedeschi chiamavano *Kobalt* (forma dialettale di *Kobold*, "gnomo") i minerali che alla fusione non davano metallo, supponendo che uno spirito maligno li avesse sostituiti al minerale argentifero. [*N.d.T.*]

[6] Cfr. Cunningham, W., *Christianity and economic science*, London, 1911; Idem, *The growth of English industry and commerce in modern times*, 6 ed., London, 1915-19; Lecerf, A., *De l'impulsion donnée par le Calvinisme à l'étude des sciences physiques et naturelles*, in "Bull. de la Soc. de l'Hist. du Protestantisme français," *84*, 1935, pp. 192-205; Merton, R. K., *Science, technology and society in seventeenth century England*, in "Osiris," *4*, 1938, pp. 360-632; Mueller-Armack, A., *Genealogie der Wirtschaftsstile*, Stuttgart, 1941; Tawney, R. H., *Religion and rise of capitalism*, New York, 1926; Troeltsch, E., *Die Soziallehren der christlichen Kirchen und Gruppen*, 3 ed., Tübingen, 1923; Idem, *Aufsätze zur Geistesgeschichte und Religionsoziologie*, Tübingen, 1925; Weber, M., *Gesammelte Aufsätze zur Religionsoziologie*, 4 ed., Tübingen, 1947, vol. 1, pp. 17-205: *Die protest. Ethik u. d. Geist des Kapitalismus (1904-05)*.

[7] Merton, R. K., *art. cit.*, p. 473.

[8] Nell'originale: "aprile 1585," evidentemente errore di stampa, perché il previlegio del Papa è in data 5 ottobre 1585.

[9] Huygens, C., *Brief an ? vom 24.5.1686*, in *Oeuvres complètes*, La Haye, 1901, t. 9, pp. 78 sg.

Parte quinta

[1] Leupold, J., *Theatrum machinarum*, Leipzig, 1724-1739 e 1788, voll. 1-9.

[2] Reuleaux, F., *Lehrbuch der Kinematik*, Braunschweig, 1875, vol. 1, pp. 11 sgg.

[3] Come risulterà chiaro dalle pagine seguenti, il cameralismo (*Kameralismus*) fu la forma tedesca del mercantilismo; le scienze *camerali* non ebbero attinenza solo con la *camera*, ossia con l'erario: oltre che dell'amministrazione statale si occuparono anche dei compiti dello stato in generale. [*N.d.T.*]

[4] Calvoer, H., *Beschreibung des Maschinenwesens... auf dem Oberharze*, Braunschweig, 1763, parte 1, p. 112.

[5] 1 stig = 2 m^3 circa.

[6] 1 skeppund = 150 kg.

[7] *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, a cura

di D. Diderot e J. L. d'Alembert, 35 voll., 12 dei quali di illustrazioni con 3132 incisioni in rame, Paris, 1751-1780.

[8] TORLAIS, J., *Réaumur*, Paris, 1936, p. 249.

[9] MUELLER-ARMACK, A., *op. cit.*, pp. 107, 173, 191.

[10] BECKMANN, J., *Anleitung zur Technologie*, Göttingen, 1777, prefazione.

[11] JASTROW, J., *Die Stellung der Technologie an den deutschen Universitäten*, in "Zs. f. angew. Chemie," *37*, 1924, pp. 953 sgg.

[12] WOLFF, C., Prefazione alla prima parte della traduzione tedesca di: BÉLIDOR, B. F. de, *Architecture hydraulique*, 1737-1751.

[13] BÉLIDOR, B. F. de, *Architecture hydraulique*, traduzione tedesca col titolo *Architectura hydraulica*, 2 ed., Augsburg, 1740, parte 1, p. 83.

[14] Le parole testuali del critico sconosciuto sono citate fra virgolette.

[15] MUELLER-ARMACK, A., *op. cit.*, pp. 259 sg.

[16] MERTON, R. K., *art. cit.*, pp. 482 sgg.

Parte sesta

[1] SCHNABEL, F., *Deutsche Geschichte im 19. Jahrhundert*, 2 ed., Freiburg, 1950, vol. 3, pp. 292 sgg.

[2] SCHNABEL, F., *op. cit.*, p. 297.

[3] FREYER, H., *Weltgeschichte Europas*, Wiesbaden, 1948, vol. 2, p. 910.

[4] WAGEMANN, E., *Menschenzahl und Völkerschicksal*, Hamburg, 1948, p. 276.

[5] BRENTANO, L., *Geschichte der wirtschaftlichen Entwicklung Englands*, Jena, 1928, vol. 3, 1.

[6] MICHEL, E., *Sozialgeschichte der industriellen Arbeitswelt*, Frankfurt a. M., 1947, pp. 73 sgg.

[7] SCHNABEL, F., *F. Redtenbacher*, in "Blätter f. Gesch. d. Techn.," *4*, 1938, pp. 66-71.

Parte settima

[1] SPENGLER, O., *Der Mensch und die Technik*, München, 1931.

[2] GLUECK, K., *Japans Vordringen auf dem Weltmarkt*, Würzburg, 1937.

[3] Cfr. la lettera di Lenin del 14 marzo 1920 al presidente della commissione per l'elettrificazione, in "Böttcherstrasse," *1*, 1929, n° 9 (Weltreich der Technik), p. 48.

[4] FAULKNER, H. U., *Amerikanische Wirtschaftsgeschichte*, Dresden, 1929, vol. 2, p. 268.

[5] BIRINGUCCIO, V., *Pirotechnia*, Venezia, 1540, cc. 20r sgg.

[6] TAYLOR, F. W., *The principles of scientific management*, New York, 1911.

[7] MATSCHOSS, C., *Entwicklung der Dampfmaschine*, Berlin, 1908, vol. 1, p. 174.

[8] *Festschrift der Gasmotorenfabrik Deutz zum 25jährigen Jubiläum*, Köln, 1889, p. 33.

[9] *Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors*, Berlin, 1893.

[10] Con ora zero s'intende l'istante stabilito per lo sgancio della bomba atomica, non la mezzanotte.

[11] Cfr. DIEBOLD, J., *Automation. The advent of the automatic factory*, New York, 1952, pp. 154 sgg.

[12] GOETHE, J. W. v., *Wilhelm Meisters Wanderjahre*, l. 3, c. 14, in *Werke*, cit., sezione 1, vol. 25, parte 1, pp. 272 sg.

Indice delle fonti

[1] Platone, *Gorgia*, 512 BC.
[2] Platone, *Leggi*, VIII, II, 846.
[3] Plutarco, *Vite parallele: Marcello*, XIV; XVII; XIX.
[4] Seneca, *Epistulae ad Lucilium*, 88.
[5] *Ibidem*, 90.
[6] (Pseudo)Aristotele, *Problemi di meccanica*, 1. Cfr. anche F. Th. Poselger, *Aristoteles' mechanische Probleme*, Hannover, 1881.
[7] *Ibidem*, 5
[8] *Ibidem*, 13.
[9] Senofonte, *Ciropedia*, VIII, 2, 5-7.
[10] Plinio, *Naturalis historia*, XXXIV, 6.
[11] Filone di Bisanzio, *Belopoiïka*, testo greco e tedesco a cura di H. Diels e E. Schramm, "Abh. d. Preuss. Akad. d. Wiss.," 1918, phil.-hist. Kl. Nr. 16.
[12] Vitruvio, *De architectura*, X, 10, 1-2.
[13] *Ibidem*, X, 11, 1-2.
[14] Erone Alessandrino, *Belopoiïka*, 1-4.
[15] *Ibidem*, 14.
[16] *Ibidem*, 25.
[17] *Ibidem*, 31-32.
[18] Erone Alessandrino, *Pneumatica*, 1, XII, XXI, XXIII, XXVIII, XXXVIII, XLI, XLIII; 2, II, III, XI, XVII, XXII.
[19] Erone Alessandrino, *Automata*, I, 1-9.
[20] *Ibidem*, I, 18.
[21] *Ibidem*, II, 2-3.
[22] Pappo Alessandrino, *Collectiones*, VIII, prefazione.
[23] Vitruvio, *De architectura*, I, 1, 3-5.
[24] *Ibidem*, I, 1, 7-10.
[25] *Ibidem*, I, 6, 1-2.
[26] *Ibidem*, X, 1, 1-6.

[27] PLINIO, *Naturalis historia*, XXXIII, 21.
[28] *Ibidem*, XXXIV, 39.
[29] GREGORIO NISSENO, *Catechesi grande*, 6.
[30] GREGORIO NISSENO, *De hominis opificio*, 2.
[31] *Ibidem*, 7.
[32] *Kwan-Yinn-Tzu*, scritto taoista dell'epoca t'ang (VIII sec. d. Cr.). Citato in CHR. DAWSON, *Die Wahre Einheit der europäischen Kultur*, tradotto dall'inglese da K. Schmidthüs, Regensburg, 1935, pp. 114 sg.
[33] AGOSTINO, *De civitate Dei*, XXII, 24.
[34] *Ibidem*, XIX, 14-15.
[35] Documento in latino e tedesco dell'837. In FRANZ GUENTHER, *Deutsches Bauerntum*, Weimar, 1940, I, pp. 46-48.
[36] TEOFILO MONACO, *Schedula diversarum artium*, prefazione.
[37] *Ibidem*, II, prefazione.
[38] *Ibidem*, III, prefazione.
[39] *Ibidem*, III, 18.
[40] *Ibidem*, III, 21.
[41] *Ibidem*, III, 8.
[42] TOMMASO D'AQUINO, *Summa theologica.*
[43] UGO DI S. VITTORE, *Didascalion.*
[44] Da F. HAUSER, *Ueber das Kitab al Hijal — das Werk ueber die sinnreichen Anordnungen — der Benū Mūsā*, Erlangen, 1922, pp. 169-171.
[45] Da E. WIEDEMANN e F. HAUSER, *Zur Trinkgefässe und Tafelaufsätze nach al-Gazari und den Benū Mūsā*, "Der Islam," *9*, 1918, 3-4, pp. 270-271.
[46] Da E. WIEDEMANN, *Zur Mechanik und Technik bei der Arabern*, "Beitr. z. Gesch. d. Naturwiss.," *6*, 1906, p. 45.
[47] *Ibidem*, pp. 45-46.
[48] *Ibidem*, pp. 46-47.
[49] Da E. WIEDEMANN, *Zur Technik der Arabern*, "Beitr. z. Gesch. d. Naturwiss.," *10*, 1906, p. 322.
[50] VILLARD DE HONNECOURT, *Album*, tav. 2.
[51] *Ibidem*, tav. 9.
[52] *Ibidem*, tav. 17.
[53] *Ibidem*, tav. 44.
[54] PIERRE DE MARICOURT, *Epistula de magnete*, 1269, in *Rara magnetica*, a cura di G. Hellmann, Berlin, 1898, I, 2.
[55] *Ibidem*, II, 3.
[56] BACON, ROGER, *Opus maius*, ed. J. H. Bridges, Oxford, 1897, I, p. 109.
[57] *Ibidem*, III, p. 167.
[58] BACON, ROGER, *Epistula de secretis operibus artis et naturae*, in BA-

CON, *Opera quaedam hactenus inedita*, ed. J. J. Brewer, London, 1859, p. 533.

[59] Da *Chroniken der deutschen Städte*, a cura di K. Hegel, Leipzig, 1864, II, pp. 507-508.

[60] KONRAD KYESER VON EICHSTÄTT, *Bellifortis*, codice ms. della biblioteca dell'Università di Goettingen, 1405, dedica fol. 2v.

[61] *Ibidem*, fol. 137r.

[62] Da B. RATHGEN, *Das Geschütz im Mittelalter*, Berlin, 1928, p. 27.

[63] *Das "Feuerwerksbuch" von 1420*, a cura di W. Hassenstein, München, 1943, pp. 41, 47, 62, 69.

[64] ALBERTI, LEON BATTISTA, *De re aedificatoria*, proemio.

[65] *Ibidem*, III, 14.

[66] *Ibidem*, IV, 6.

[67] *Ibidem*, VI, 6.

[68] FRANCESCO DI GIORGIO MARTINI, *Trattato di architettura civile e militare*, Torino, 1841, I, 5, pp. 245-248.

[69] LEONARDO DA VINCI, *Codice Atlantico*, fol. 302 vb.

[70] *Ibidem*, fol. 270 rc.

[71] *Ibidem*, fol. 391 ra.

[72] *Ibidem*, fol. 381 va.

[73] TARTAGLIA, NICCOLÒ, *Quesiti et inventioni diverse*, Venezia, 1546, libro primo, quesito primo.

[74] ANTONIO AVERLINO FILARETE, *Trattato dell'architettura*, 1464. Nel 1896 apparve una traduzione parziale tedesca di W. v. Oettingen. Il testo italiano è ancora inedito. Il brano riportato è stato trascritto dal codice autografo, già magliabechiano, alla Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze da Enrica Torelli.

[75] BOURBON, NICOLAS, *Ferraria*, 1517, in BOURBON, *Nugae*, Paris, 1533, vv. 222-267.

[76] BIRINGUCCIO, V., *De la Pirotechnia*, Venezia, 1540, fol. 19v-21v.

[77] PARACELSUS, *Das Buch Paragranum (Liber quatuor columnarum artis medicae)*, 1530, in PARACELSUS, *Sämtliche Werke*, a cura di K. Sudhoff, München, 1924, VIII, p. 181.

[78] PARACELSUS, *Von den hinfallenden Siechtagen*, 1530, in *Sämtliche Werke*, cit., VIII, p. 291.

[79] PARACELSUS, *Die Bücher von den unsichtbaren Krankheiten*, 1531-1532, in *Sämtliche Werke*, cit., IX, p. 256.

[80] PARACELSUS, *Labyrinthus medicorum errantium*, 1537-1538, in *Sämtliche Werke*, cit., XI, pp. 187-190.

[81] PARACELSUS, *De tempore laboris et requiei*, in PARACELSUS, *Sozialethische und sozialpolitische Schriften*, a cura di K. Goldammer, Tübingen, 1952, p. 200.

[82] AGRICOLA, GEORG, *De re metallica*, Basel, 1556, I.

[83] Hampe, Th., *Nürnberger Ratsverlässe*, Wien e Leipzig, 1904, I-III.
[84] Guidobaldo del Monte, *Mechanicorum libri VI*, Pesaro, 1577, prefazione.
[85] Lorini, Buonaiuto, *Delle fortificationi*, Venezia, 1597, p. 172.
[86] *Ibidem*, pp. 179-180.
[87] In *The Progress of Machinery and Manufactures in Great Britain*, "Quarterly Papers on Engineering," 5, 1846, pp. 108 sgg.
[88] *Statute of Monopolies* del 1624, sez. 6, in *The Progress of Machinery and Manufactures in Great Britain*, cit., p. 154.
[89] Bacon, Francis, *Novum Organum*, 1620.
[90] Bacon, Francis, *New Atlantis*, in Bacon, *Works*, London, 1778, I, pp. 363, 367.
[91] Galilei, Galileo, *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze, attenenti alla mecanica et i movimenti locali*, Leiden, 1638, Giornata prima.
[92] *Ibidem*, Giornata seconda, prop. I.
[93] In Descartes, *Oeuvres*, publ. par Ch. Adam et Paul Tannery, Paris, 1898, II, p. 381.
[94] Descartes, René, *Discours de la méthode*, Leiden, 1637, sixième partie.
[95] Pascal, Blaise, *Lettre dédicatoire à Monseigneur le Chancelier (Pierre Séguier) sur le sujet de la machine nouvellement inventée par le Sieur B. P. pour faire toutes sortes d'opérations d'arithmétique par un mouvement réglé sans plume ni jetons*, Paris, 1645, in Pascal, *Oeuvres complètes*, publ. par F. Strowski, Paris, 1923, I, pp. 151-153.
[96] Borelli, Giovanni Alfonso, *De motu animalium*, Roma, 1680, p. 1.
[97] *Ibidem*, pp. 62-64.
[98] Glauber, Johann Rudolf, *Opus minerale*, Frankfurt a. M., 1651, III, pp. 139-143.
[99] Glauber, Johann Rudolf, *Teutschlands Wohlfahrt*, Amsterdam, 1660, V, pp. 3, 6-10, 12.
[100] Glauber, Johann Rudolf, *Miraculum mundi*, Amsterdam, 1660, II, pp. 17-20.
[101] Boeckler, Georg Andreas, *Theatrum machinarum novum*, Nürnberg, 1661, tav. 151.
[102] Wilkins, John, *Mathematicall Magik*, London, 1648, 4 ed. 1691, p. 3.
[103] Boyle, Robert, *Some considerations touching the usufulness of experimental natural philosophy*, Oxford, 1663, 2 ed. 1664; ed. lat. col titolo: *Exercitationes de utilitate philosophiae naturalis experimentalis*, Lindau, 1692, p. 20.
[104] In G. Burnet, *A sermon preached at the funeral of the Hon. Robert Boyle*, London, 1692.

[105] BAXTER, RICHARD, *Christian Directory*, 2 ed., London, 1678, I, pp. 107, 111, 260, 336, 340, 376, 378.
[106] *Ibidem*, II, p. 128.
[107] *Ibidem*, IV, p. 276.
[108] *Ibidem*, I, pp. 230-235.
[109] BARCLAY, ROBERT, *Theologiae verae christianae apologia*, Frankfurt a. M., 1676.
[110] EDWARDS, JOHN, *A complete history or survey of all the dispensation and methods of religion*, London, 1694.
[111] FONTANA, DOMENICO, *Della trasportazione dell'Obelisco Vaticano*, Roma, 1590.
[112] BÉLIDOR, B. F. DE, *Architecture hydraulique*, Paris, 1739, I, 2, pp. 195 sgg.
[113] LEUPOLD, JAKOB, *Beschreibung der grossen Machine bei Marly*, in LEUPOLD, *Theatrum machinarum hydraulicarum*, Leipzig, 1725, II, pp. 39-40.
[114] CALVOR, HENNING, *Historisch-chronologische Nachricht... des Maschinenwesens... auf dem Oberharze*, Braunschweig, 1763, I, pp. 20, 96, 101, 106-108.
[115] LEIBNIZ, G. W., *Wasserhebung mittels der Kraft des Windes*, in LEIBNIZ, *Nachgelassene Schriften physikalischen, mechanischen und technischen Inhalts*, a cura di E. Gerland, Leipzig, 1906, pp. 181-183.
[116] HUYGENS, CHRISTIAAN, *Oeuvres complètes*, La Haye, 1895, VI, p. 95.
[117] *Ibidem*, XXII, pp. 241-242, 244.
[118] *Ibidem*, VII, pp. 356-358.
[119] AD MAJOREM DEI GLORIAM. *Nouvelles de la République des Lettres*, 1687, pp. 516-523.
[120] PAPIN, DENIS, *Recueil de... quelques nouvelles machines*, Kassel, 1695; ed. lat. col titolo: *Fasciculus dissertationum de novis quibusdam machinis*, Marburg, 1695, pp. 49-66.
[121] *Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin*, a cura di E. Gerland, Berlin, 1881, pp. 233-234.
[122] *Ibidem*, pp. 337-338.
[123] *Ibidem*, pp. 367-368.
[124] *Ibidem*, pp. 372-376.
[125] LEUPOLD, JAKOB, *Theatrum machinarum oder Schauplatz der Hebezeuge*, Leipzig, 1725, dedica.
[126] LEUPOLD, JAKOB, *Theatrum machinarum hydraulicarum*, Leipzig, 1725, II, prefazione.
[127] *Ibidem*, pp. 129-131.
[128] *Ibidem*, p. 143.
[129] LEUPOLD, JAKOB, *Kurtzer Entwurff. auf was Arth die Verbesserung des Machinen-Wesens bey denen Bergwercken zu veranstalten*, Leipzig,

1725; ristampato in (Chr. E. Seyffert) *Bibliotheca metallica*, Leipzig, 1728, pp. 213-217.

[130] FAIRBAIRN, WILLIAM, *Treatise on mills and millwork*, London, 1861, I, pp. V-VI.

[131] POLHEM, CHRISTOPHER, *Patriotische Testament*, 1746; trad. ted. in *Sammlung versch. Schriften, welche in die öconomischen... Wissenschaften einschlagen*, a cura di Dan. Gottfr. Schreber, Halle, 1764, XXII, pp. 328-329.

[132] *Descriptions des arts et métiers*, cahier 1, Paris, 1761.

[133] *Schauplatz der Künste und Handwerke*, a cura di J. H. G. v. JUSTI, Berlin, 1762, I, 8-9.

[134] PERRONET, J. R., *Remarques à l'art de l'épinglier*, in R.A.F. DE REAUMUR, *Art de l'épinglier*, avec des additions de H. L. Duhamel du Monceau, Paris, 1762 (*Descriptions des arts et métiers*).

[135] SMITH, ADAMS, *Inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*, London, 1776.

[136] *Ibidem*.

[137] *Ibidem*.

[138] *Ibidem*.

[139] FRANKLIN, BENJAMIN, *Guter Rat an eine jungen Handwerker*, 1748, in FRANKLIN, *Nachgelassene Schriften u. Correspondenz*, Weimar, 1819, V, pp. 72, 75.

[140] DARBY, ABIAH, *Brief über die Erfindung ihres Schwiegervaters, Roheisen aus dem Erz allein mit Steinkohlenkoks zu erblasen*, 1775, in TH. S. ASHTON, *Iron and steel in the industrial revolution*, 2 ed., Manchester, 1951, pp. 249-252.

[141] WATT, JAMES, *Steam Engines. Specification No. 913, A. D. 1769*, in *English Patents of Inventions. Specifications*. Old Series, London, 1850.

[142] REICHENBACH, GEORGE VON, *Tagebuch der Reise nach England*, 1791, manoscritto n° 8277 di proprietà della Biblioteca del Deutsches Museum di Monaco.

[143] (POLENI, GIOVANNI), *Memorie istoriche della gran cupola del Tempio Vaticano*, Padua, 1748, pp. 366-367.

[144] *Briefwechsel Friedrichs des Grossen mit Voltaire*, a cura di R. Koser e H. Droysen, Leipzig, 1911, III, p. 427.

[145] COULOMB, CHARLES AUGUSTIN DE, *Théorie des machines simples*, nouv. éd., Paris, 1821, pp. V-VI.

[146] COULOMB, CHARLES AUGUSTIN DE, *Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatif à l'architecture*, in *Memoires de mathém... prés. à l'Acad. des Sciences*, Paris, 1776, VII; ristampato in COULOMB, *Théorie des machines simples*, cit., pp. 319-321.

[147] PINET, G., *Histoire de l'Ecole Polytechnique*, Paris, 1887, p. 368.

[148] DINNENDAHL, FRANZ, *Selbstbiographie*, in C. MATSCHOSS, *Franz Dinnendahl.*

[149] DINNENDAHL, FRANZ, *Kostenanschlag für eine 15zöllige doppeltwirkende Dampf-Förderungs-Maschine*, 1807, in DINNENDAHL, *Handscriftl. Skizzenbuch*, di proprietà della Biblioteca del Deutsches Museum di Monaco.

[150] CARNOT, SADI, *Réflexions sur la puissance motrice du feu sur les machines*, Paris, 1824.

[151] HARKORT, FRIEDRICH, *Eisenbahnen*, in HERMANN, *Nr. 26 vom 30.3. 1825*; ristampato in L. BERGER, *Der alte Harkort*, 4 ed., Leipzig, 1902, pp. 222-224.

[152] HARKORT, FRIEDRICH, *Abhandlung über Schienenwege.* Denkschrift aus dem Jahre 1826, in *Friedrich Harkort in seinen unbekannten Gedichten, in unveröffentlichten Briefen und Dokumenten*, a cura di P. Hilgenstock e W. Bacmeister, Essen, 1937, pp. 76-78.

[153] NASMYTH, JAMES, *Autobiography*, a cura di Samuel Smiles, London, 1883, pp. 130-132; 147-149.

[154] BABBAGE, CHARLES, *On the economy of machinery and manufactures*, London, 1832.

[155] BAINES, EDWARD, *History of the cotton manufacture in Great Britain*, London, 1835.

[156] *Ibidem.*

[157] *Ibidem.*

[158] *Ibidem.*

[159] *Ibidem.*

[160] URE, A., *Philosophy of Manufactures*, London, 1835.

[161] *Ibidem.*

[162] *Ibidem.*

[163] *Ibidem.*

[164] FISCHER, JOHANN CONRAD, *Tagebücher (1794-1851)*, Schaffhausen, 1951, pp. 217, 222-223, 334 (dall'anno 1825).

[165] *Ibidem*, pp. 467-469 (dall'anno 1845).

[166] *Ibidem*, p. 740 (dall'anno 1851).

[167] *Aus Schinkels Nachlass. Reisetagebücher, Briefe und Aphorismen*, a cura di Alfred Freiherr von Wolzogen, Berlin, 1863, pp. 71, 73, 113-114.

[168] *Ibidem*, Beuth a Schinkel, 1823, p. 141.

[169] LUDLOW, JOHN M. e LLOYD JONES, *Progress of the working class. 1832-1867*, London, 1867, p. 23.

[170] GOETHE, JOHANN WOLFGANG v., *Wilhelm Meisters Wanderjahre* (1829), II, 3; in GOETHE, *Werke*, Sophien-Ausg., I, 25, 1, Weimar, 1895, pp. 111-114.

[171] *Ibidem*, pp. 118-119.

[172] *Ibidem*, pp. 123-126.
[173] *Ibidem*, pp. 232-233.
[174] *Ibidem*, p. 245.
[175] *Ibidem*, pp. 249-250.
[176] HARKORT, FRIEDRICH, *Bemerkungen über die Hindernisse der Zivilisation und Emanzipation der untern Klassen*, Elberfeld, 1844. Nuova edizione a cura di Julius Ziehen, Frankfurt a. M., 1919, pp. 23-30, 33.
[177] MARX, KARL, *Das Kapital*, 1867, a cura di K. Kautsky, Stuttgart, 1914, I, 327-330.
[178] *Ibidem*, p. 337.
[179] *Ibidem*, pp. 360-361.
[180] *Ibidem*, pp. 366-367.
[181] *Ibidem*, p. 371.
[182] *Ibidem*, pp. 373-376.
[183] *Ibidem*, p. 396.
[184] *Ibidem*, p. 398.
[185] REDTENBACHER, F., *Resultate für den Maschinenbau*, Mannheim, 1848, pp. III-IV.
[186] REDTENBACHER, F., *Der Maschinenbau*, Mannheim, 1862, I, pp. 436-437.
[187] REDTENBACHER, F., *Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaues*, Mannheim, 1852, p. 191.
[188] *Ibidem*, p. 279.
[189] *Ibidem*, pp. 294-295.
[190] REULEAUX, F., *Briefe aus Philadelphia*, ed. ampliata, Braunschweig, 1877, pp. 21-23.
[191] *Ibidem*, pp. 94-95.
[192] GÖLDY, A., *Bericht... über die Maschinen-Industrie... auf der Internationalen Ausstellung in Philadelphia*, Winterthur, 1877, pp. 36-37.
[193] *Ibidem*, p. 47.
[194] GOLDSCHMIDT, FRIEDRICH, *Die Weltausstellung in Philadelphia und die deutsche Industrie*, Berlin, 1877, pp. 28-32.
[195] *Ibidem*, pp. 41-42.
[196] *The Westinghouse Foundry, near Pittsburg*, "PA. Scientific American," 62, 1890, n° 24, pp. 369-370.
[197] FORD, HENRY, *My life and work*, 1922.
[198] WEBER, MAX MARIA VON, *Wo steht der deutsche Techniker?*, 1882, in WEBER, *Aus der Welt der Arbeit. Gesammelte Schriften*, Berlin, 1907, pp. 474-491.
[199] REULEAUX, F., *Theoretische Kinematik*, Braunschweig, 1875, pp. 525-529.
[200] DIESEL, RUDOLF, *Die Entsehung des Dieselmotors*, Berlin, 1913, pp. 1-4.
[201] *Ibidem*, pp. 151-152.

[202] Reuleaux, F., *Brief an Rudolf Diesel vom 22.2.1893*, Deutsches Museum di Monaco, Handschr.-Samml. Nr. 4967.

[203] Vorsselmann de Heer, P.O.C., *Ueber den Elektromagnetismus als bewegende Kraft*, "Annalen d. Physik u. Chemie," *123*, 1839, pp. 83-84.

[204] *Ibidem*, pp. 93-94.

[205] *Ibidem*, pp. 98-100.

[206] Hamel, J., *Colossale magneto-elektrische Maschine zum Versilbern und Vergolden* (trad. in tedesco dal "Bull. de St. Pétersbourg"), "Journ. f. prakt. Chemie," *41*, 1847, pp. 244-255.

[207] *Werner Siemens. Ein Kurzgefasstes Lebensbild nebst einer Auswahl seiner Briefe*, a cura di Conrad Matschoss, Berlin, 1916, II, pp. 908-909.

[208] *Ibidem*, p. 911.

[209] *Ibidem*, pp. 944-945.

[210] Wilke, Arthur, *Die Elektrizität*, Leipzig, 1893, pp. 1-2.

[211] Lilienthal, Otto, *Weshalb ist es so schwierig, das Fliegen zu erfinden?*, "Prometheus," 6, 1895, n° 261, pp. 7-10.

[212] Braun, Ferdinand, *Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft. Vortäge Winter 1900*, Leipzig, 1901, pp. 56-57.

[213] Braun, Ferdinand, *Electrische Schwingungen und drahtlose Telegraphie*, Premio Nobel, 1909, Stockholm, 1910, pp. 1-3.

[214] *Ibidem*, p. 5.

[215] Arco, Georg conte di, *Mögliches und Unmögliches in der drahtlosen Telegraphie*, "Berliner Tageblatt," 18 maggio 1904. Citato in Ferdinand Braun, *Ueber drahtlose Telegraphie*. Tesi di laurea, Strassburg, 1905, pp. 26-28.

[216] Le Rossignol, Robert, *Zur Geschichte der Herstellung des synthetischen Ammoniaks*, "Naturwiss.," 6, 1928, pp. 1070-71.

[217] Bosch, Carl, *Ueber die Entwicklung der chemischen Hochdrucktechnik bei dem Aufbau der neuen Ammoniakindustrie*. Premio Nobel 1931, Stockholm, 1933. Anche in "Chem. Fabrik.," 6, 1933, pp. 127-142.

[218] Smyth, Henry (de Wolf), *Atomenergie und ihre Verwertung im Kriege. Offizieller Bericht über die Entwicklung der Atombombe*, Basel, 1947, pp. 289-293: *Bericht des USA-Kriegsministeriums über die Neu-Mexiko-Probe vom 16. Juli 1945*.

[219] Wiener, Norbert, *The human use of human beeings (Cybernetics and Society)*, New York, 1949.

Le maggiori imprese tecniche compiute dall'antichità greco-romana fino ai giorni nostri

avanti Cristo

circa 600	Slittovia per navi attraverso l'istmo di Corinto (km 7,4).
circa 550	Fusione del bronzo (Grecia).
circa 522	Acquedotto attraverso il monte Kastro presso Samo (km 1): *Eupalinos da Megara.*
circa 425	Telegrafo ottico a fiaccole (Grecia).
circa 400	Catapulta a torsione.
312	Via Appia (Roma-Capua).
305	Primo acquedotto romano (km 16,2).
300	Lenti convesse di vetro (Cartagine).
secolo III	Pompa a stantuffo, organo idraulico, orologio ad acqua, catapulta ad aria compressa: *Ctesibio.*
circa 240	Carrucola, còclea per il sollevamento dell'acqua, macchine belliche: *Archimede.*
circa 200	Macchine pneumatiche, catapulte: *Filone di Bisanzio.*
187	Via Emilia (Rimini-Piacenza).
circa 180	Acquedotto di Pergamo (pressione 18 atm. circa).
145	Acquedotto dell'acqua Marcia (km 91,6, di cui 10 su arcate).
circa 100	Impianto di riscaldamento (ipocausto) (Roma).
secolo I	Soffiatura del vetro (Siria).

dopo Cristo

secolo I	Apparecchi pneumatici e teatro degli automi: *Erone.*
	Balestra (Roma).
	Carta: *Ts'ai Lun* (Cina).
circa 60	Pressa a vite.

105	Ponte sul Danubio in Dacia: *Apollodoro di Damasco.*
circa 130	Cupola del Pantheon (m 43 di luce).
532-537	Hagia Sophia a Bisanzio (diametro della cupola m 31): *Isidoro di Mileto* e *Anthemio di Tralleis.*
secolo VII	Porcellana (Cina).
673	Fuoco di Bisanzio: *Gallinico di Heliopolis.*
secolo VIII	Carta (Arabia).
secolo IX	Miglioramento del sartiame delle navi a vela.
secolo IX-X	Sella moderna, staffe, briglie, ferri da cavallo fissati mediante chiodi (Europa).
secolo X	Estrazione di argento e rame dalle miniere dello Harz. Balestra (Europa). Nuove bardature per cavalli (Europa).
circa 1041	Stampa con lettere mobili: *Pi Shêng* (Cina).
circa 1050	Distillazione dell'alcool dal vino.
secolo XII	Estrazione dell'argento dalle miniere nell'Erzgebirge (Sassonia). Diffusione della ruota idraulica. Mulini a vento (Europa). Navigazione a vela senza sussidio di remi. Timone posteriore girevole. Telaio a pedale. Tecnica architettonica gotica. Scoperta degli acidi forti (acido solforico, acido nitrico).
1146	Ponte in pietra sul Danubio a Regensburg.
secolo XIII	Aratro pesante a ruote con coltello, vomere ed orecchia. Carriola. Diffusione dell'uso della bussola in Europa. Semplici chiuse di navigazione in Olanda ed in Germania.
1231	Bombe in ferro con polvere da sparo (Cina).
1269	Progetto di un moto perpetuo magnetico: *Pierre de Maricourt.*
1298	Diffusione dell'arcolaio a mano in Europa.
fine del secolo XIII	Occhiali. Orologio a pesi e a ruote.
secolo XIV	Fusione del ferro in Occidente (in Cina oltre 1500 anni prima). Inizi dello sviluppo dell'altoforno.
circa 1320	Cannone a polvere da sparo.
seconda metà del secolo XIV	Archibugi (Cina).

1389	Cartiera (presso Norimberga).
1420-1436	Cupola del Duomo di Firenze (luce m 39): *F. Brunelleschi.*
circa 1445	Stampa a caratteri mobili in Europa: *J. Gutenberg.*
circa 1450	Caravelle.
circa 1480	Ruota per filare con fuso ad aletta (per avvolgere il filo).
circa 1500	Progetti di macchine, di *Leonardo da Vinci.*
	Morsa citata in Norimberga.
1504	Argano a cavalli nel lavoro di miniera.
1510	Orologio da tasca: *P. Henlein.*
circa 1555	Trasmissione ad aste nel lavoro di miniera nell'Erzgebirge (Sassonia).
1561	Perfezionamento del tornio a supporti: *H. Spaichel.*
1586	Trasporto dell'obelisco Vaticano (t 327): *D. Fontana.*
1588-1590	Cupola di S. Pietro a Roma (luce m 42): *Michelangelo, Giacomo della Porta, D. Fontana.*
1589	Telaio per calze: *W. Lee.*
1597	Compasso proporzionale: *G. Galilei.*
1611-1612	Termoscopio: *S. Santorio.*
1637	Prima nave a tre ponti della marina da guerra inglese, la "Sovereign of the Seas."
1640-1663	Perfezionamento della pompa d'aria: *O. von Guericke.*
1642	Macchina calcolatrice (addizionatrice): *B. Pascal.*
1655	Pompa da incendio con cassa d'aria: *H. Hautsch.*
1657	Orologio a pendolo con perno di scappamento: *C. Huygens.*
1666-1681	Canal du midi (km 240): *P. P. Riquet* e *F. Andréossy.*
1673	Macchina calcolatrice (moltiplicatrice): *G. W. v. Leibniz.*
	Macchina atmosferica a polvere da sparo: *C. Huygens.*
circa 1677	Vetro di colore di rubino: *J. Kunckel.*
1681-1685	Costruzione del dispositivo di sollevamento d'acqua presso Marly.
1690	Macchina atmosferica semplice a vapore: *D. Papin.*
1693-1694	Porcellana dura europea: *E. W. von Tschirnhaus.*
1698	Pompa a vapore: *T. Saverys.*
	Pompa a vapore ad effetto diretto: *D. Papin.*
1711	Macchina atmosferica a vapore: *T. Newcomen.*
	Stampa in tricromia: *J. Chr. Le Blond.*
1718	Termometro a mercurio: *D. G. Fahrenheit.*

1720	Scappamento migliorato a cilindro per orologi da tasca: *G. Graham.*
1733	Battente a navetta volante: *J. Kay.*
1735	Produzione del ferro grezzo dal minerale con il solo coke di carbon fossile (invece del carbone di legna): *A. Darby jr.*
	Orologio marino: *J. Harrison.*
1742	Acciaio fuso: *B. Huntsman.*
1745	Telaio automatico a modello di *J. de Vaucanson,* al quale si collega quello di *J. M. Jacquard* (1805).
1752	Parafulmine: *B. Franklin.*
1765	Macchina a vapore, a bassa pressione, ad azione diretta, con condensatore separato: *J. Watt.*
1767	Filatoio Jenny: *J. Hargreaves.*
1769	Tramvia a vapore: *N. J. Cugnots.*
	Filatoio continuo ad alette: *R. Arkwright.*
1774-1779	Filatoio "mule": *S. Crompton.*
1775	Barenatrice per cilindri: *J. Wilkinson.*
1775-1779	Ponte ad arco in ghisa presso Coalbrookdale (m 32 di luce).
1776	Nelle acciaierie di *J. Wilkinson* funziona la prima macchina a vapore di Watt.
1782-1784	Macchina a vapore, a bassa pressione, a doppio effetto: *J. Watt.*
1783	Pallone ad aria calda: *fratelli Montgolfier.*
1784	Procedimento del puddellaggio: *H. Cort.*
1785	*J. P. Minckelaers* illumina una sala pubblica con gas di carbon fossile.
	Telaio meccanico: *E. Cartwright.*
1786	Nave a vapore: *J. Fitch.*
1787	La macchina a vapore di *Watt* viene introdotta nelle filande di cotone.
1791	Soda da sale comune, acido solforico, carbone, calcare: *N. Leblanc.*
1792	*W. Murdock* illumina la propria casa con gas di carbon fossile.
1793	Macchina per la sgranatura del cotone: *E. Whitney.*
1794	Pallone aerostatico in servizio di guerra.
	Telegrafo ottico (linea Parigi-Lilla): *Cl. Chappe.*
1795	Pressa idraulica: *J. Bramah.*
	Mulino automatico per grano: *O. Evans.*
1796	Litografia: *A. Senefelder.*
1798	Macchina a vapore ad alta pressione: *R. Trevithick.*
1798-1799	Macchine per carta: *L. Robert.*

circa 1800	Tornio a supporti perfezionato: *H. Maudslay.*
1801	Macchina a vapore ad alta pressione: *O. Evans.*
1802	Primo processo per l'estrazione dello zucchero dalla barbabietola, a base industriale: *F. K. Achard.*
1803-1804	Locomotiva a vapore: *R. Trevithick.*
1805	Telaio automatico per tessuti operati: *J. M. Jacquard.*
1807	Prima nave a vapore di uso pratico: *R. Fulton.*
1812	Macchina tipografica celere (a cilindri): *F. König.*
1814	Per la prima volta un intero quartiere di Londra viene illuminato con gas di carbon fossile.
1817	Biciclo: *C. Freiherr Drais von Sauerbronn.*
1823	Macchina atmosferica a gas con accensione a fiamma: *S. Brown.*
1824	Ciclo: *S. Carnot.*
1825-1830	*R. Roberts* perfeziona il filatoio automatico per cotone.
1826	Elica per nave: *J. Ressel.*
1827	Turbina idraulica a reazione d'impiego pratico: *B. Fourneyron.*
	Filatoio continuo ad anelli: *J. Thorp.*
1830	Prima ferrovia a vapore per trasporto di persone (Liverpool-Manchester): *G. Stephenson.*
1832	Primo generatore elettrico rotante (azionato a mano): *H. Pixii.*
	Telegrafo ad ago elettromagnetico: *P. L. Schilling von Canstadt.*
	Aratro a vapore: *J. Heathcoat.*
1833	Telegrafo ad ago elettromagnetico: *C. F. Gauss* e *W. Weber.*
1834	Primo motore elettrico di grande potenza, alimentato da una batteria: *M. H. von Jacobi.*
	Trebbiatrice: *C. McCormick.*
1835	Prima ferrovia tedesca: Norimberga-Fürth.
	Pistola: *S. Colt.*
1836	Fucile ad ago: *J. N. Dreyse.*
1837-1843	Telegrafo d'uso pratico: *S. F. Morse.*
1839	Tornio a trapano verticale: *J. G. Bodmer.*
	Maglio a vapore: *J. Nasmyth.*
	Galvanoplastica: *M. H. von Jacobi.*
1841	Sistema universale di filettatura per viti: *J. Whitworth.*
	Macchina atmosferica a benzina con carburatore: *L. De Cristoforis.*

1843	Piroscafo ad elica "Great Britain," costruito interamente in ferro: *I. K. Brunel.*
1844	*F. G. Keller* impiega la pasta di legno per la preparazione della carta.
1845	Tornio a revolver con 8 utensili: *St. Fitch.*
	Macchina da cucire a doppia trapuntura: *E. Howe.*
1847	Cannone in acciaio fuso: *A. Krupp.*
1848	Prima lampada elettrica ad arco di uso pratico: *J.B.L. Foucault.*
1848-1854	Galleria del Semmering, primo tunnel alpino (lunghezza m 1430): *K. von Ghega.*
1849	Turbina idraulica a reazione: *J. B. Francis.*
1850	Macchina a vapore di Corliss a cassetto girevole: *G. H. Corliss.*
1850-1851	Sommergibile: *W. Bauer.*
1851	Fusione dell'acciaio in forma: *Jacob Mayer.*
1853	Motore atmosferico a gas (a pistone volante): *E. Barsanti* e *F. Matteucci.*
1854	Produzione dell'alluminio dalla criolite: *H. E. Sainte-Claire Deville.*
	Posta pneumatica: *J. L. Clark.*
1856	Produzione dell'acciaio nel convertitore Bessemer: *H. Bessemer.*
	Indotto a doppio T per macchine elettriche: *W. Siemens.*
	Industria dei coloranti derivanti dal catrame: produzione del violetto d'anilina: *W. H. Perkin.*
1859	Utensili d'acciaio con aggiunte di tungsteno, ecc.: *R. Mushet.*
	Inizio delle perforazioni per l'estrazione del petrolio in America: *G. L. Drake.*
1859-1869	Costruzione del canale di Suez: *A. Negrelli* e *F. de Lesseps.*
1860	Motore a gas ad azione diretta con accensione elettrica: *E. Lenoir.*
1861	Telefono: *Ph. Reis.*
1863	Ferrovia a cremagliera: *R. Riggenbach.*
	Processo soda-ammoniaca: *E. Solvay.*
1864	Processo Siemens-Martin per la produzione dell'acciaio: *F. Siemens* e *P. Martin.*
1866	Dinamo: *W. Siemens.*
	Primo cavo sottomarino: *C. W. Field.*

1867 Motore a gas atmosferico: *N. A. Otto* e *E. Langen.*
Primi modelli di macchina da scrivere: *Chr. L. Sholes, S. W. Soule,* e *C. S. Glidden.*
Cemento armato: *J. Monier.*
Dinamite: *A. Nobel.*

1868 Margarina: *H. Mège-Mouriès.*

1869 Macchina a indotto ad anello piatto: *Z. Th. Gramme.*

1872 Freno automatico ad aria compressa: *G. Westinghouse.*

1873 Tornio a revolver automatico: *M. Spencer.*

1875 Automobile a benzina: *S. Marcus.*

1876 Motore a gas a quattro tempi con compressione: *N. A. Otto.*
Telefono: *G. Bell.*
Macchina frigorifera ad ammoniaca con compressione: *C. von Linde.*

1877 Illuminazione stradale con lampade elettriche ad arco a Parigi.

1879 Procedimento per ricavare l'acciaio dal ferro grezzo fosforoso: *S. G. Thomas* e *P. C. Gilchrist.*
Locomotiva elettrica della potenza di 3 cavalli: *W. Siemens.*
Lampada a incandescenza a filamento di carbone: *T. A. Edison.*

1880 Ascensore elettrico: *W. Siemens.*
Macchina a schede perforate: *H. Hollyerith.*

1881 Accoppiamento diretto di macchine a vapore con generatori elettrici: *W. Siemens.*
Similigravura (stampa di autotipia): *G. Meisenbach.*

1882 Prima centrale elettrica, New York: *T. A. Edison.*
Trasmissione di energia elettrica durante l'Esposizione Elettrotecnica Internazionale di Monaco, per una distanza di km 57: *M. Deprez.*

1883 Mitragliatrice: *H. Maxim.*
Motore a benzina: *G. Daimler* e *W. Maybach.*

1884 Turbina a vapore a reazione: *Ch. A. Parsons.*
Linotype: *O. Mergenthaler.*
Seta artificiale alla nitrocellulosa: *St. H. de Chardonnet.*

1885 Motocicletta: *G. Daimler.*
Automobile a tre ruote: *C. Benz.*
Scoperta del campo magnetico rotante: *G. Ferraris.*
Retine per luce a gas: *K. Auer von Welsbach.*

	Sottomarino: *T. Nordenfelt.*
	Tubi d'acciaio senza saldatura: *R.* e *M. Mannesmann.*
1887	*R. Bosch* introduce l'accensione per rottura per i motori a scoppio.
1888	Cemento armato precontratto: *W. Doehring.*
1889	Motore trifase di pratico impiego e trasformatore trifase: *M. von Dolivo-Dobrowolski.*
	Turbina a vapore veloce, ad azione, ad un solo stadio: *G. de Laval.*
1890	Tubo isolante per conduttori elettrici: *S. Bergmann.*
1890-1896	Aliante: *O. Lilienthal.*
1892	Macchina a vapore surriscaldato: *W. Schmidt.*
1893	Cellula fotoelettrica: *J. Elster* e *H. Geitel.*
1893-1897	Motore diesel: *R. Diesel.*
1894	Alluminotermia: *H. Goldschmidt.*
1895	Liquefazione dei gas con il principio della controcorrente: *C. von Linde.*
	Antenna: *A. Popow.*
	Cinematografo: *A.* e *L. Lumière.*
dal 1896	Sviluppo della turbina a vapore ad azione, con stadi multipli di velocità: *C. G. Curtis.*
1897	Telegrafo senza fili: *G. Marconi.*
	Sintesi del blu indaco: *K. Heumann.*
	Tubo a raggi catodici: *F. Braun.*
1898	Trasmettitore accoppiato: *F. Braun.*
1899	Macchina automatica per la soffiatura delle bottiglie: *M. J. Owens.*
1900	Freno rapido: *G. Knorr.*
	Prima aeronave dirigibile: *F. von Zeppelin.*
1902	Accensione a magnete ad alta tensione Bosch: *G. Honold.*
1903	Locomotiva elettrica a scartamento normale: *Siemens* e *AEG.*
	Volo meccanico: *O.* e *W. Wright.*
	Produzione tecnica dell'acido nitrico all'arco elettrico: *K. Birkeland* e *S. Eyde.*
	Produzione della seta artificiale viscosa su scala industriale: *C. H. Stearn* e *Ch. F. Topham.*
1904	Tubo elettronico (diodo): *J. A. Fleming.*
	Telegrafia a immagini: *A. Korn.*
	Stampa in offset: *W. Rubel.*
1905	Pompa a diffusione, a vapori di mercurio: *W. Gaede.*
	Giunto idraulico a cambio di velocità, per potenze e velocità comunque elevate: *H. Föttinger.*

1906 Turbina a gas: *H. Holzwarth.*
Locomotiva diesel: *A. Klose.*
Resine sintetiche dal fenolo e dalla formaldeide: *L. H. Baekeland.*
Tubo amplificatore: *R. von Lieben* e *Lee de Forest.*
1907 Prima macchina ad alta frequenza di uso pratico: *R. A. Fessenden* e *E. F. W. Alexanderson.*
1908 Bussola giroscopica: *H. Anschütz-Kaempfe.*
Cellophan: *J. E. Brandenberger.*
1909 *L. Blériot* attraversa in volo la Manica in 27 minuti e 1/3.
1912 Sviluppo della turbina idraulica veloce: *V. Kaplan.*
1913 Lampada elettrica a incandescenza con spirale di filo di tungsteno: *I. Langmuir.*
Trasmettitore a valvole termoioniche: *A. Meissner.*
Sintesi tecnica ad alta pressione dell'ammoniaca: *F. Haber* e *C. Bosch.*
Produzione su scala industriale della seta artificiale all'acetato.
Liquefazione del carbone mediante idrogenazione in pressione: *F. Bergius.*
1914 Sintesi tecnica dell'acido acetico: *P. Duden* e *J. Hess.*
1915 Aeroplano interamente metallico: *H. Junker.*
1919 Film sonoro: *H. Vogt, J. Engl, J. Massolle.*
1920 Lana di cellulosa Vistra.
1922-1923 Aeroplano ad ala rotante (autogiro): *J. de La Cierva.*
1923 Automobile con motore diesel.
1924 Produzione in serie della macchina fotografica "Leica," formato piccolo. Modello originario, 1913: *O. Barnack.*
Telegrafia ad immagini con cella di Kerr: *A. Karolus.*
1925 Liquefazione del carbone a bassa pressione: *F. Fischer* e *H. Tropsch.*
1926 Primo esperimento televisivo: *J. L. Baird.*
1927 Caucciú sintetico (Buna).
1928 Dispositivo elettronico di scomposizione delle immagini (iconoscopio): *W. K. Zworykin.*
1928-1929 Esperimenti sui razzi: *M. Valier.*
1930 Motore per aereo a olio pesante: *H. Junker.*
Tubo a getto: *P. Schmidt.*
Ciclotrone: *E. O. Lawrence.*
1933 Microscopio elettronico: *E. Ruska, B. von Borries, E. Brüche, M. Knoll* e altri.

1934 Fabbricazione di lana di cellulosa migliorata.
1937 Primo aeroplano lento del mondo, lo "Storch": *G. Fieseler*.
1938 Fibra tessile perlon completamente sintetica: *P. Schlack*.
Fibra sintetica nylon: *W. Carothers*.
Magnetofono ad alta frequenza: *H. von Braunmühl* e *W. Weber*.
Transatlantico inglese "Queen Elizabeth" (84.000 tonnellate di stazza).
1939 Un aereo Messerschmitt (Me 209) ottiene il record mondiale di velocità con 755,11 km/h.
Primo volo di un aerogetto, uno Heinkel (He 178).
Elicottero: *I. Sikorsky*.
1940 Primo betatrone di impiego pratico: *D. W. Kerst*.
dal 1940 Sviluppo delle apparecchiature per la radiolocalizzazione (Radar = Radio Detection and Ranging).
1941 Primo volo di un aereo a reazione senza coda Messerschmitt (Me 163).
1942 Telerazzo V2: *W. von Braun*.
1942 Pila a uranio: *E. Fermi*.
1945 Bomba atomica.
1946 Grande calcolatrice elettronica ENIAC (= Electronical Numerical Integrator and Computer) con 18.000 tubi elettronici (velocità 5.000 addizioni al secondo): *H. Mauchly* e *J. P. Eckert*.
1947 L'aereo a reazione Bell XS-1 supera la velocità del suono.
1949 Un razzo a due stadi sale fino a 412 km.
1950 Microscopio a campo elettronico: *E. W. Müller*.
1952 Bomba all'idrogeno.
1953 Un aviogetto inglese raggiunge quota 19.410 m.
Motore atomico sperimentale che aziona un turbogeneratore della potenza di 250 kW, messo in funzione negli Stati Uniti.
Primo reattore da caccia supersonico adatto per produzione in serie (North American F-100 A-1 NA Super-Sabre).

Indice delle illustrazioni

L'Editore ringrazia la libreria "Il Polifilo" che ha cortesemente messo a disposizione la propria rara collezione di opere tecniche da cui sono stati tratti i nove facsimili fuori testo.

nel testo

fuori testo

in bianco e nero

a colori

facsimili

Indice